

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Хіміко-технологічний факультет

Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів

«На правах рукопису»
УДК 004.9:628

«До захисту допущено»
Завідувача кафедри
_____ Т.В. Бойко
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: «Керування процесами електророзрядного очищення води басейнів»

Виконала:

студентка VI курсу, групи ХА-71мп

Вовненко Карина Вадимівна _____

Керівник:

доцент КХТП, к.т.н.

Бондаренко С.Г. _____

Консультант з розроблення стартап-проекту:

доцент КЕіП, к.е.н.

Тюленєва Ю.В. _____

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Хіміко-технологічний факультет**

Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
Спеціальність (спеціалізація) – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» («Комп'ютерно-інтегровані технології сталих хімічних виробничих комплексів»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

_____ Т.В. Бойко

« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Вовненко Карині Вадимівні

1. Тема дисертації «Керування процесами електророзрядного очищення води басейнів», науковий керівник дисертації Бондаренко Сергій Григорович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження _____

4. Вихідні дані _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити _____

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу _____

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	доцент КЕіП , к.е.н. Тюленєва Ю.В.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Розробка календарного плану		
2	Літературний огляд		
3	Аналіз основних завдань процесу очищення води басейнів. Визначення основних методів очистки, їх переваг і недоліків.		
4	Аналіз технології електророзрядної очистки води як об'єкту керування.		
5	Проведення експериментального дослідження.		
6	Розробка алгоритму оцифровки експериментальних даних..		
7	Розрахунок витрати енергії на очищення води в середовищі MathCAD.		
8	Визначення параметрів системи регулювання контуру стабілізації температури води.		
9	Розробка проекту системи керування електророзрядною установкою в середовищі Trace Mode 6.		
10	Розробка стартап-проекту.		
11	Оформлення пояснювальної записки, виконання ілюстративних матеріалів (презентації).		

Студент

(підпис)

К. В. Вовненко

Науковий керівник дисертації

(підпис)

С. Г. Бондаренко

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація загальним обсягом 125 сторінки, містить 60 ілюстрацій, 17 таблиць, 4 додатки та 25 джерел за переліком посилань.

Актуальність теми. Актуальність роботи пов'язана з потребою пошуку альтернативних методів очищення та знезараження води басейнів, які дозволять підвищити рівень якості очищення води для її відповідності сучасним екологічним вимогам та санітарним нормам якості питної води.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась в рамках договорів: між Інститутом газу НАН України та НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» №1/5-08/1414 від «01» травня 2008 р. – «Комп'ютерно-інтегрований технічний комплекс знешкодження шкідливих органічних відходів»; між Інститутом геохімії навколишнього середовища НАН України та НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» №1400/02 від «11» грудня 2017 р. – «Комп'ютерно-інтегрована система моніторингу та прогнозування якості водних об'єктів».

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є розроблення системи керування процесом електророзрядної очистки води басейнів. Для цього необхідно вирішити наступні задачі: виконати аналіз завдань очищення води басейнів, виконати аналіз технології електророзрядної технології як об'єкту керування та виявити основні параметри контролю та керування; провести експериментальне дослідження електророзрядного очищення води басейнів від основних забрудників; виконати аналіз та обробку результатів експериментальних дослідів, з використання пакетів Mathcad, Origin Pro та інших; визначити параметри системи регулювання контуру температури очищеної води, яка скидається в басейн; в середовищі Trace Mode 6 виконати проект системи керування електророзрядною установкою; розробити стартап проект.

Об'єктом дослідження є комп'ютерно-інтегрована системи електророзрядного очищення води басейнів.

Предмет дослідження – система керування процесом електророзрядного очищення води басейнів.

Методи дослідження. Методи математичного моделювання, обчислювальні та натурні експерименти.

Наукова новизна результатів. Запропонована технологія електророзрядного очищення води басейнів. Експериментально визначено ефективність методу електророзрядної очистки води басейнів. Розроблена SCADA-система, що здійснює обробку даних і управління процесами електророзрядного очищення води басейнів.

Практичне значення результатів Оцифровка осцилограм за допомогою середовища Origin Pro. Визначені значення потужності, витрати енергії на очищення води басейнів від УФ-блокаторів. Визначені параметри ПД-регулятора в контурі стабілізації температури води для повернення в басейн.

Апробація результатів роботи. Основні положення магістерської дисертації були висвітлені на 6-ій міжнародній науково-практичній конференції "Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку – КМХТ-2018" та Першій Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ" 2018.

Публікації. За матеріалами магістерської дисертації опубліковано дві наукові статті в збірниках міжнародних конференцій.

КЕРУВАННЯ, ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНА ТЕХНОЛОГІЯ, ОЧИЩЕННЯ, БАСЕЙНИ, ПЛАЗМОХІМІЧНИЙ РЕАКТОР, ДУГОВИЙ РОЗРЯД, ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ.

Реферат

Магистерская диссертация общим объемом 125 страницы, содержит 60 иллюстраций, 17 таблиц, 4 приложения и 25 источников по перечню ссылок.

Актуальность темы. Актуальность работы связана с необходимостью поиска альтернативных методов очистки и обеззараживания воды бассейнов, которые позволят повысить уровень качества очистки воды для ее видповіданості современным экологическим требованиям и санитарным нормам качества питьевой воды.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнялась в рамках договоров: между Институтом газа НАН Украины и НТУУ "КПИ им. И. Сикорского" №1 / 5-08 / 1414 от « 01 »мая 2008 - «компьютерно-интегрированный технический комплекс обезвреживания вредных органических отходов»; между Институтом геохимии окружающей среды НАН Украины и НТУУ "КПИ им. И. Сикорского" №1400 / 02 от « 11 »декабря 2017 -« компьютерно-интегрированная система мониторинга и прогнозирования качества водных объектов ».

Цель и задачи исследования. Целью данной работы является разработка системы управления процессом электроразрядной очистки воды бассейнов. Для этого необходимо решить следующие задачи: выполнить анализ задач очистки воды бассейнов, выполнить анализ технологии електророзрядної технології как объекта курирование и выявить основные параметры контроля и управления; провести экспериментальное исследование электроразрядного очистки воды бассейнов от основных загрязнителей; выполнить анализ и обработку результатов экспериментальных исследований, по использованию пакетов Mathcad, Origin Pro и других; определить параметры системы регулирования контура температуры очищенной воды, сбрасываемой в бассейн; в среде Trace Mode 6 выполнить проект системы управления электроразрядными установкой; разработать стартап проект.

Объектом исследования является компьютерно-интегрированная системы электроразрядного очистки воды бассейнов.

Предмет исследования - система управления процессом электроразрядного очистки воды бассейнов.

Методы исследования. Методы математического моделирования, вычислительные и натурные эксперименты.

Научная новизна. Предложенная технология электроразрядного очистки воды бассейнов. Экспериментально определена эффективность метода электроразрядной очистки воды бассейнов. Разработана SCADA-система, осуществляющая обработку данных и управление процессами электроразрядного очистки воды бассейнов.

Практическое значение Оцифровка осциллограмм с помощью среды Origin Pro. Определены значения мощности, расхода энергии на очистку воды бассейнов от УФ-блокаторов. Определены параметры ПИД-регулятора в контуре стабилизации температуры воды для возвращения в бассейн.

Апробация результатов работы. Основные положения магистерской диссертации были освещены на шестой международной научно-практической конференции "Компьютерное моделирование в химии и технологиях и системах устойчивого развития - КМХТ-2018" и Первой Всеукраинской научно-практической интернет-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ "2018.

Публикации. По материалам магистерской диссертации опубликовано две научные статьи в сборниках международных конференций.

УПРАВЛЕНИЕ, ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯ, ОЧИСТКА, БАСЕЙНЫ, ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ РЕАКТОР, ДУГОВОЙ РАЗРЯД, ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ.

ABSTRACT

Master dissertation with a total volume of 125 pages, contains 60 illustrations, 17 tables, 4 appendices and 25 sources under the list of references.

Actuality of theme. The urgency of work is related to the need to find alternative methods of disinfection of water pools, which will be satisfied by the level of quality of treated water and will meet the current environmental requirements and sanitary norms of drinking water quality.

Relationship of work with scientific programs, plans, themes. The work was carried out within the framework of agreements: between the Institute of Gas of the National Academy of Sciences of Ukraine and NTUU "KPI them. I. Sikorsky "№1 / 5-08 / 1414 from" 01 "May 2008 - "Computer-integrated technical complex for the elimination of harmful organic wastes"; between the Institute of Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine and NTUU "KPI them. I. Sikorsky "№1400 / 02 from" 11 "December 2017 -" Computer-integrated system of monitoring and prediction of water quality ".

The purpose and tasks of the study. The purpose of this work is to develop a system for regulating the process of electric discharge cleaning of pool water. To do this, the following tasks must be solved: to perform an analysis of the circuit diagram of the electrodischarge water treatment as an object of automation; to conduct an experimental research on the use of electric discharge water purification from the main pollutants; to perform analysis and processing of the results of experimental experiments, using Mathcad, Origin Pro and others packages; to determine parameters of the system of regulation of the contour of stabilization of the temperature of the purified water that returns to the pool; in the Trace Mode 6 environment, implement a system for controlling the electrical discharge installation; develop a startup project.

The object of research is a computer-integrated system of electric discharge cleaning of pool water.

The subject of research - a system for controlling the process of electric discharge cleaning of pool water.

Research methods. Methods of mathematical modeling, computational and natural experiments.

Scientific novelty of the results. The stages of algorithm digitization of oscillograms using the source Pro environment are determined. The scheme of control and regulation of the main parameters of the electric discharge unit is designed, which provides for the operator to intervene to change the settings.

The practical value of the results. The parameters of the PID regulator are determined in the most important contour of stabilization of the water temperature for returning to the pool. The parameters of the work of the electrodischarge module for minimization of energy consumption for the process of water purification from a specific substance are determined.

Approval of the results of work. The main provisions of the master's thesis were highlighted at the 6th International Scientific and Practical Conference "Computer Modeling in Chemistry and Technologies and Systems of Sustainable Development - KMHT-2018".

Publications. According to the materials of the master's dissertation, one article and one thesis of reports at international conferences were published.

MANAGEMENT, ELECTRICITY TECHNOLOGY, CLEANING, BASES, PLASMOCHYMIC REACTOR, ARRIVAL DISCHARGE, WATER DISCHARGE, TECHNOLOGICAL OBJECT OF MANAGEMENT.

Зміст

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів.....	12
Вступ.....	13
1 Аналіз процесу очищення води басейнів.....	15
1.1 Завдання водоочищення басейнів.....	16
1.1.1 Основні показники якості води басейнів.....	16
1.1.2 Основні забруднювачі води басейнів.....	18
1.2 Методи знезараження води басейнів.....	22
1.3 Електророзрядне очищення води басейнів.....	29
1.4 Особливості керування процесами водоочищення басейнів.....	30
1.5 Постановка задачі.....	31
2. Експериментальне дослідження електророзрядного очищення води басейнів від основних забруднювачів.....	33
2.1 Опис лабораторної установки.....	33
2.2 Розробка методики проведення експерименту.	34
2.3 Аналіз результатів досліджень по очищенню води басейнів.....	35
2.4 Визначення електричних параметрів електророзрядного модуля.....	43
3. Визначення витрат енергії на процес очищення забрудненої води.....	48
3.1 Алгоритм оцифровки графіків в програмі OriginPro 2017.....	48
3.2 Розрахунок миттєвої потужності, енергії та ККД.....	55
4. Розробка системи керування електророзрядним модулем очищення води басейнів.....	58
4.1 Аналіз процесу електророзрядної очистки води басейнів, як об'єкту керування.	58
4.2 Розрахунок контуру регулювання температури повернення очищеної води в басейн.....	60
4.3 Розробка SCADA-системи в середовищі Trace Mode.....	71
4.3.1 Призначення та сфери застосування програмного середовища Trace Mode.....	71

4.3.2 Реалізація схеми електророзрядної установки в середовищі TraceMode.....	72
4.3.3 Інструкція користувача для роботи зі SCADA-системою контролю та регулювання електророзрядною установкою	82
5. Розроблення стартап проекту.....	87
5.1 Резюме: конкретизація бізнес-ідеї, мети стартапу, об'єкту дослідження, місця розробки у інноваційному ланцюжку цінності	87
5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу	90
5.3 Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда.....	93
5.4 Розрахунок основних техніко-економічних показників проекту.....	95
5.5 Оцінка ризиків та страхування розробки.....	101
Висновки	103
Список використаних джерел	105
Додаток А. Протоколи хімічних аналізів модельних та оброблених розчинів. ...	108
Додаток Б. Алгоритм розрахунку миттєвої потужності, вкладу енергії та ККД в математичному середовищі Mathcad	113
Додаток В. Лістинг MathCAD по налаштуванню та характеристикам ПД-регулятора	119
Додаток Г. Анкета-опитування для споживачів фільтрів знезараження води	124

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

pH – це показник кислотності води;

TDS – це число нерозчинних елементів або «загальна мінералізація», мг/л;

ПВХ – полівінілхлорид;

АСУТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

СМ – сіменс, одиниця виміру електропровідності;

ХСК – хімічне споживання кисню, показник вмісту органічних речовин у воді;

T_i – інтегральна складова ПІД-регулятора;

$T_{пр}$ – диференціальна складова ПІД-регулятора;

k – коефіцієнт передачі об'єкта;

k_p – коефіцієнт передачі регулятора;

ε – сигнал неузгодження, що подається на вхід регулятора;

μ – регулюючий вплив на виході регулятора;

ІС – інтегроване середовище розробки;

FBD – (англ. Function Block Diagram), графічна мова програмування стандарту МЭК 61131-3.

SCADA (аббр. від англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління і збір даних) – програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління

Вступ

В даний час розширюється мережа оздоровчих і спортивних басейнів різних типів і розмірів. Їх призначення – зміцнення здоров'я населення, тому повинні бути виключені чинники негативного впливу на організм людини.

Очищення води представляє досить важку технологічну задачу. Сучасні водоочисні споруди являють собою складні багатоступінчасті системи, що використовують в своєму функціонуванні різноманітні методи очищення, які визначаються фізико-хімічними характеристиками води, що очищається, станом і поведінкою домішок в ній, а також і цільовим призначенням.

Останнім часом поряд з традиційними методами очищення в водоочисні споруди вводять і нові – нетрадиційні методи очищення. Це викликано тим, що традиційні методи очищення не завжди можуть забезпечити прийнятну якість очищення, а для його досягнення потрібно істотне ускладнення і подорожчання схеми. Крім того, наявність невеликих населених пунктів, вахтових селищ і їх віддаленість від основних транспортних магістралей, вимагає створення невеликих і недорогих установок. Поряд з традиційними методами очищення розвиваються і такі напрямки, як електрокоагуляція, озонування, електророзрядні технології, ультрафіолетовий вплив, кавітація, магнітна обробка, радіаційна обробка і окислювальні технології, які полягають в комплексному впливі на воду декількох факторів [25].

Таким чином плазмовий метод очищення води, що заснований на ініціювання різними способами електричних розрядів в рідині, можна назвати як універсальний. Суть його полягає у виникненні плазмового розряду або над поверхнею рідкого середовища, при цьому використовується тліючий, дуговий, бар'єрний розряди, або в обсязі рідкого середовища – в результаті поширення стримерного розряду, всередині якого генеруються мікробульбашки кисню, повітря [18].

Застосування електророзрядних технологій є важливою та складною задачею. Використання цього методу має ряд переваг і дозволяє проводити високоякісну

очистку води за однією технологією від різних збудників та без додавання хімічних реактивів.

Тому метою даної роботи є розроблення системи регулювання процесом електророзрядної очистки води басейнів. Для цього необхідно вирішити наступні задачі: виконати аналіз схеми процесу електророзрядної водообробки, як об'єкту автоматизації; провести експериментальний дослід використання електророзрядної очистки води від основних забруднювачів; виконати аналіз та обробку результатів експериментальних дослідів, з використання пакетів Mathcad, Origin Pro та інших; визначити параметри системи регулювання контуру стабілізації температури очищеної води, яка повертається в басейн; в середовищі Trace Mode 6 виконати проект системи керування електророзрядною установкою; розробити стартап проект.

1 Аналіз процесу очищення води басейнів

Проблема питної води турбує людство все сильніше на протязі останніх років. У доповіді ООН про проблеми нестачі питної води говорять прямо: «До середини 21 століття питної води не вистачить 7 млрд. людей і вже більше 5 років 2 млрд. людей на планеті страждають від її нестачі.» Використання води на душу населення зменшиться втричі через 20 років. Що характерно – 97,5% запасів води на планеті не придатні для пиття – так як надто мінералізовані. А решту 2,5% запасів більше ніж на половину знаходяться в твердому стані в Арктиці, Антарктиді, в гірських льодовиках і за полярним колом [1, 17].

Питна вода – вода, що відповідає за своєю якістю в природному стані або після обробки (очищення, знезараження) встановленим нормативним вимогам і призначена для питних і побутових потреб людини або для виробництва харчової продукції. Йдеться про вимоги до сукупності властивостей і складу води, при яких вона не робить несприятливого впливу на здоров'я людини як при вживанні всередину, так і при використанні в гігієнічних цілях, а також при виробництві харчової продукції.

В основі гігієнічних вимог до якості води для питних і побутових потреб лежить принцип безпеки в епідеміологічному відношенні, нешкідливості за хімічним складом і сприятливості за органолептичними властивостями.

Як джерела водопостачання використовуються міський, селищний водопроводи, і підземні води (свердловини, колодязі). Як правило, для того, щоб вода відповідала вимогам СанПіН, необхідно проводити процедуру її очищення.

Техногенна цивілізація внесла істотний внесок в зменшення запасів питної води, розчиняючи в ній домішки своєї життєдіяльності. Це призводить до того, що урбанізовані людиною райони планети знищують процес циркуляції прісної води в екосистемі. Так в останні десятиліття помітно змінився хімічний склад не тільки поверхневих, але і підземних вод. Незважаючи на відносну високу захищеність (в порівнянні з поверхневими) від забруднення, в них вже виявляються свинець, хром, ртуть, мідь, цинк, ін [17].

1.1 Завдання водоочищення басейнів.

1.1.1 Основні показники якості води басейнів.

Купання в басейні – це задоволення, користь, розслаблення і одночасно навантаження. Але потрібно пам'ятати, що купання повинно бути безпечним для здоров'я. У воді не повинно бути небезпечних мікроорганізмів, шкідливих домішок, алергенів, особливо, якщо в ній купаються не тільки дорослі, а й діти. Зараження, грибок, алергічні висипання, почервоніння – все це може не оминати людини стороною, якщо не звертати уваги на склад води в басейні [1].

Основні типи води, що підлягає санітарно-мікробіологічному контролю: питна вода централізованого водопостачання; питна вода нецентралізованого водопостачання (колодязі, свердловини); питна вода, розфасована в ємності; мінеральна вода, розфасована в ємності; вода джерел (відкритих водойм і артезіанських свердловин) питного водопостачання; вода плавальних басейнів і аквапарків; стічні води. Вимоги, що пред'являються до різних типів води, викладені у відповідних нормативних документах [2-6], методики визначення регламентованих санітарних показників – у відповідних Методичних вказівках. Лабораторії, акредитовані на проведення санітарно-мікробіологічних досліджень води, повинні здійснювати внутрішній контроль своїх результатів відповідно до вимог Методичних вказівок [7].

Таблиця 1.1 Види басейнів і санітарно-гігієнічні вимоги до їх установа.

Види басейнів (призначення)	Площа дзеркала води, м ²	Температура води, °С	Площа дзеркала води на 1 людину в м ² , не менше	Час повного водообміну, год, не більше
1	2	3	4	5
Спортивні	до 1000 більше 1000	24 – 28	8,0 10,0	8,0
Оздоровчі	до 400 більше 400	26 – 29	5,0 8,0	6,0

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Дитячі навчальні:				
- діти до 7 років	до 60	30 – 32	3,0	0,5
- діти старше 7 років	до 100	29 – 30	4,0	2,0
Охолоджуючі	до 10	до 12	2,0	–

Примітки.

1. Глибина басейнів для дітей до 7 років повинна бути не більше 0,6 м.
2. Зазначене час повного водообміну не відноситься до басейнів проточного типу з прісною водою.
3. Температура води у відкритих басейнах повинна підтримуватися влітку на рівні 27 °С, взимку 28 °С.

Основні хімічні показники, за якими потрібно стежити, це рівень рН, хлору або кисню (в залежності від вибору методу дезінфекції). Заміри слід проводити приблизно раз в тиждень (частота тестування залежить від інтенсивності експлуатації басейну), використовуючи для аналізу спеціальні тести.

Рівень рН – це показник кислотності води. рН для басейнів становить від 7,2 до 7,6 одиниць, якщо він вище – вода лужна, а це може привести до дискомфорту: свербіння, подразнення слизових, висипу. Крім того, в лужній воді знову ж гірше працюють дезінфектанти.

Якщо рН нижче 7,2, воду вважають кислотної, що теж неприємно, адже кислота буде поступово роз'їдати металеві деталі, а про вплив її на шкіру можна здогадатися. Тому за кислотно-лужним рівнем потрібно стежити з особливою ретельністю, і регулювати хімічним склад води в басейні за допомогою спеціальних реагентів.

TDS – це число нерозчинних елементів або «загальна мінералізація». Солі кальцію, магнію, натрію завжди присутні у воді, особливо проточній по нашим водопровідним трубам. Вимірюється кількість цих домішок в міліграмах на літр (мг / л), і в ідеально чистій воді цей показник дорівнює нулю. Неозброєним оком частинок, звичайно, не видно, але з часом вони накопичуються і вода каламутніє –

згадайте накип на чайнику від «жорсткої» води, значення TDS який часто буває не менш 780 мг / л. Для басейну значення TDS в ідеалі повинно бути не більше 450-500 мг / л, допустимо до 1000 мг / л, але ні в якому разі не більше, адже при такому показнику дезінфікуючі реагенти просто не будуть діяти.

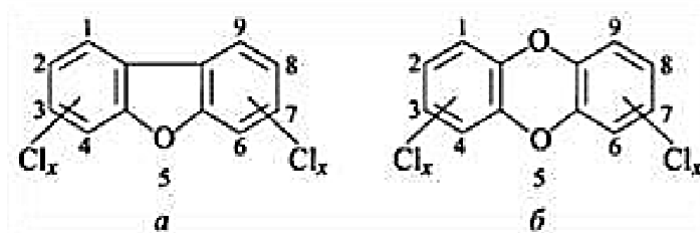
Загальна лужність – означає кількість лужних елементів у воді, і з рН цей показник плутати не можна. Вимірюється загальна лужність в частинках на мільйон – partspermillion, ppm. Нормальним значенням вважається 100-150 ppm, якщо воно більше або менше - доведеться вдатися до регулювання.

Кальцієва жорсткість – ще один параметр води, що складає число частинок, що містять кальцій, здатних розчинитися у воді (кальцій взагалі розчиняється погано, уявіть собі розчинений шматочок крейди). Якщо вода жорстка, то кальцій замутиє воду, і, як наслідок, осяде на всіх поверхнях і обладнанні. Це виглядає не дуже естетично і може викликати вихід багатьох елементів з ладу.

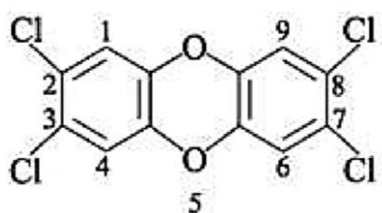
1.1.2 Основні забруднювачі води басейнів

Для визначення індивідуальних компонентів водного середовища використовують різні фізико-хімічні методи аналізу, за допомогою яких здійснюють вірусологічний, паразитологічний, токсикологічний і радіаційний контроль. Визначають концентрацію алюмінію, миш'яку, свинцю, заліза, міді, марганцю, цинку, нітратів, нітритів, полісахариду, поліфосфатів, сульфатів, хлоридів. За нормативними документами необхідно так само визначати вміст речовин, що мають канцерогенну і мутаційним дією при дуже низьких концентраціях.

При цьому одними з найбільш небезпечних канцерогенних речовин є діоксини. Це велика група високотоксичних речовин поліхлорованих дибензодіоксинов (а) і дибензофуранов (б) структурні формули:



Діоксинові і фуранові з'єднання можуть мати в своєму складі парне або непарне число атомів хлору в бензольних кільцях. Наприклад 2,3,7,8 тетрахлордібензодіоксил має таку структурну формулу:



Ці діоксини потрапляючи в організм людини з продуктами харчування та питною водою призводять до генетичних змін, що обумовлює ракові захворювання. У малих дозах вони викликають мутагенний ефект, мають кумулятивну спроможність, погіршують імунітет, вражають внутрішні органи і призводять до виснаження організму. Діоксини здатні розчинятися в деяких органічних розчинниках і утримуватися в жироподібних матрицях, мають високу адгезію до частинок ґрунту, золи, донних відкладень, що сприяє їх накопиченню в поверхневих водах.

Перед заповненням чаші басейну рекомендується виконати мікробіологічний та хімічний аналіз в санітарній установі. У разі, коли водопідготовка в басейні не може забезпечити нормативні показники, воду для заповнення рекомендується підготувати до якості питної. Речовини, які заважають водопідготовки слід видалити в установках, що застосовуються для очищення питної води. Це перш за все відноситься до води, яка містить велику кількість гумінових сполук або не відповідає таким вимогам:

Кольоровість	- не більше 5 балів за шкалою кольоровості;
нерозчинні частинки (суспензії)	- не більше 2 мг / л для відкритих басейнів; - не більше 1 мг / л для критих басейнів;
прозорість (по хресту)	- на всю глибину чаші басейну;
перманганатна окиснюваність	- не більше 4 мг / л;
вміст хімічних речовин:	
Залізо	- не більше 0,1 мг / л;
Марганець	- не більше 0,05 мг / л;

Срібло	- не більше 0,05 мг / л;
Мідь	- не більше 1 мг / л;
Алюміній	- не більше 0,2 мг / л;
Амоній	- не більше 0,5 мг / л;
Сульфати	- не більше 500 мг / л;
Хлориди	- не більше 350 мг / л;
загальна жорсткість	- не більше 7 мг-екв / л;
поліфосфати (в	- не більше 0,005 мг / л;

перерахунку на фосфор)

Мікробіологічні показники якості води у ванні басейну (в процесі експлуатації):

Основні:

Загальні коліформні бактерії в 100 мл	- не більше 1;
Термотолерантні коліформні бактерії в 100 мл	- відсутні;
Коліфаги в 100 мл	- відсутні;
Золотистий стафілокок (<i>Staphylococcus aureus</i>) в 100 мл	- відсутні;

Додаткові:

Збудники кишкових інфекцій	- відсутні;
Синьогнійна паличка (<i>Pseudomonas aeruginosa</i>) в 100 мл	- відсутні.

Паразитологічні показники

Цисти лямблій (<i>Giardia intestinalis</i>) в 50 л	- відсутні;
Яйця і личинки гельмінтів в 50 л	- відсутні.

Показники і нормативи якості води у басейні:

1. У ванні басейну для дітей до 7 років вміст вільного залишкового хлору допускається на рівні 0,1-0,3 мг / л, за умови дотримання нормативів по основним мікробіологічними та паразитологічними показниками.

2. При спільному застосуванні УФ-випромінювання та хлорування або озонування і хлорування вміст вільного залишкового хлору повинен знаходитися в межах 0,1 - 0,3 мг / л.

3. В басейнах з морською водою хлориди не нормуються.

4. Допускається підвищення вільного залишкового хлору в особливих випадках за епідпоказаннями до 0,7 мг / л.

5. Методи визначення показників викладені у відповідних державних стандартах і методичних вказівках МОЗ України. Для контролю фізико-хімічних показників допускається використання аналітичних експрес-методів з чутливістю не нижче зазначених нормативних величин.

6. При вмісті у воді залишкового вільного хлору більше 0,3 мг / л рекомендується захист очей відвідувачів басейну окулярами для плавання.

Якщо в басейні глибиною більше півметра з'явився бурий відтінок води, значить, в ній перевищено норматив вмісту заліза (3 мг / м3). Про перевищення вмісту заліза у воді більше 7мг-екв / л свідчить поява накипу при кип'ятінні води. Перевищення органіки в воді басейну виявляється пробою з марганцівкою [8].

Останнім часом зростає популярність і, відповідно, виробництво і використання сонцезахисних кремів. Необхідною інгредієнтом такого роду захисних засобів є ультрафіолетові фільтри. Ультрафіолетові фільтри можуть бути представлені неорганічними сполуками (діоксид титану і оксид цинку), які відображають і / або розсіюють ультрафіолетове випромінювання і органічними сполуками (пара-амінобензоат, ціннамати, бензофенони, дібензоілметани, похідні камфори, бензімідазоли), які поглинають ультрафіолетове випромінювання [9, 10].

Креми можуть потрапляти у водне середовище під час плавання в басейні або відкритій воді, під час прийняття душу або ванни. У помітних кількостях креми містяться в міських стічних водах і в результаті неповного видалення на очисних спорудах потрапляють у природне водне середовище. З'єднання, що використовуються в якості ультрафіолетових фільтрів, мають високу ліпофільність, що обумовлює їх накопичення в ґрунтах, донних відкладеннях водних об'єктів і в харчовому ланцюгу. З'являються всі підстави розглядати їх як новий клас забруднюючих речовин. Ультрафіолетові фільтри виявлені в річковий, озерної і морській воді в концентраціях до 10 мкг / л.

З'являються повідомлення про присутність у воді плавальних басейнів галогенбензохінонов і їх токсичності при концентраціях на рівні нанограмів в літрі

води. Межа визначення галогенбензохінонов з використанням сучасних методів аналізу становить 0,03-1,2 нг / л. В результаті обстеження 10 басейнів встановлено наявність у всіх випадках 2,6-дихлоро-1,4-бензохінона. Його концентрації склали 19-299 нг / л, що в 100 разів вище, ніж у вихідній водопровідній воді (1-6 нг / л). Виявлено також 2,3,6-трихлоро- (1,4) бензохінон, 2,3-дібромо-5,6-диметил (1,4) бензохінон і 2,6-дібромо- (1,4) бензохінон. Концентрації цих речовин становили від 0,1 до 11,3 нг / л. Характерно, у вихідній водопровідній воді вони відсутні.

Факторами, що сприяють виникненню високих концентрацій галогенбензохінонов в воді плавальних басейнів є підвищені концентрації розчинного органічного вуглецю, вільного хлору і підвищені температури. Підкреслюється значний внесок різних лосьйонів і захисних кремів як прекурсорів цих речовин [11].

Застосування методів квадрупольної мас-спектрометрії та свержвисокоякісної рідинної хроматографії дозволило виявити у воді плавальних басейнів галогеннітрофеноли, що утворюються при взаємодії хлору з сечовиною в присутності бромідів. Підтверджено наявність 2,4-дібромофенола, 2,4-діхлорофенола, 2-бромофенола, 2,6-дібромо-4-нітрофенолу, 2-бромо-6-хлор-4-нітрофенолу і 2,6-дихлоро-4-нітрофенолу. Чисті стандартні зразки цих речовин характеризуються швидкістю просочування через шкіру на рівні 0,021-0,031 см / год [12].

Як бачите, важливо звертати увагу на хімічний склад води в басейні, так як речовини можуть не тільки зіпсувати зовнішній вигляд або привести до поломки обладнання басейну, а й завдати шкоди здоров'ю.

1.2 Методи знезараження води басейнів

Необхідність знезараження води в технології водопідготовки обумовлена тим, що на попередніх етапах її обробки (освітлення, знебарвлення коагуляцією, відстоювання і фільтрування) вдається видалити лише 90 - 95% забруднюючих воду мікроорганізмів, серед решти можуть бути патогенні віруси і бактерії. Крім того даний, завершаючий етап, обробки води поряд з дезінфекцією сприяє

поліпшенню її якості за рахунок окисного руйнування і зв'язування деяких домішок води.

Існуючі методів знезараження води, розділяються на реагенти (за допомогою окиснювачів, іонів металів – міді, срібла та ін.) та безреагентні (термічні, ультразвукові, УФ-опромінення, радіоактивне випромінювання) найбільш широко застосовується окислювальна дезінфекція вода. Як окиснювачі використовують хлор, діоксид хлору, гіпохлорит натрію і кальцію, а також озон, рідше пероксид водню, перманганат калію та ін. У свою чергу з них, на практиці, перевагу надають хлору, його похідним і озону. У кожному конкретному випадку вибір методу знезараження визначається витратою і якістю оброблюваної води, а також вимогами, що пред'являється до неї.

Хлорування води в басейні. Метод, який являється найпоширенішим. Він, в порівнянні з іншими методами, досить ефективний та доступний. Хлорування води дозволить зберегти її властивості протягом довгого часу, тобто, ви можете проводити хлорування рідко і підтримувати при цьому її в певному стані. Хлорування можливо в ручному режимі і за допомогою спеціальних автоматичних систем. З впровадженням даного методу вода знезаражується хлором або певними з'єднаннями, які його містять. За рахунок хімічної реакції гине великий відсоток мікроорганізмів і бактерій, які є у воді басейну. Але, в той же час, в хлорування все частіше забувають, Використовуючи більш сучасні методи, або ж вживають його в комплексі з іншими заходами дезінфекції, найбільш ефективно[13].

Найбільш важливою проблемою даного методу є висока активність хлору, він вступає в хімічні реакції з усіма органічними і неорганічними речовинами знаходяться у воді.

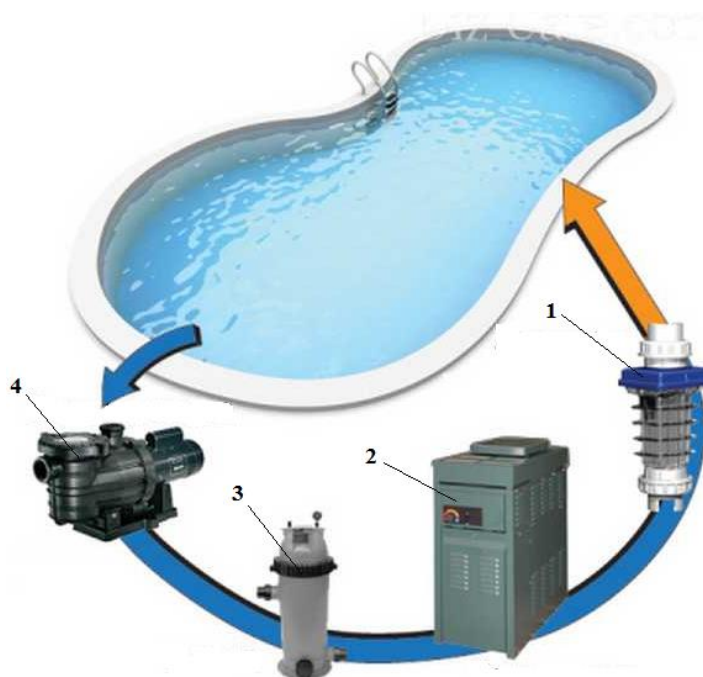


Рисунок 1.1 – Схема очистки води басейну хлоруванням:

1 – хлоратор; 2 – нагрівач; 3 – фільтр; 4 – насос.

Побічний ефект від шкідливого впливу хлору може бути викликаний двома способами: коли хлор проникає в організм через дихальні шляхи, і коли хлор проникає через шкіру. Учені в усьому світі досліджують цю проблему. Вони пов'язують багато небезпечних захворювань з попаданням в організм людини хлору або шкідливих побічних продуктів хлорування води. До цих захворювань відносять: рак сечового міхура, рак шлунка, рак печінки, рак прямої та ободової кишки.

Але страждають не тільки органи травлення. Також хлор може стати причиною хвороби серця, атеросклерозу, анемії, підвищеного тиску. Крім цього хлор сушить шкіру (згадайте відчуття стягнутості шкіри після басейну), руйнує структуру волосся (вони починають більше випадати, стають ламкими, тьмяними, м'якими), подразнює слизову оболонку очей [14].

Озонування води в басейні. Подібний метод вважається найбільш екологічним. І не спроста, адже для очищення води використовується озон, досить сильний окислювач, який потрапляючи в воду, знищує забруднення і бактерії, а після цього потрапляє в навколишнє середовище і змішується з повітрям, йдучи в

стандартний хімічний склад. Озонування води - метод дуже конкурентний, так як займає менше часу на очищення, і при цьому на 100% очищає воду від шкідливих для людини мікроорганізмів. При цьому в складі води залишаються всі корисні мікроелементи. Можна сказати, що озонування оновлює воду, так як вона не тільки очищається, але і набуває приємний смак і запах, а тому її сміливо можна використовувати для наповнення басейнів[13].

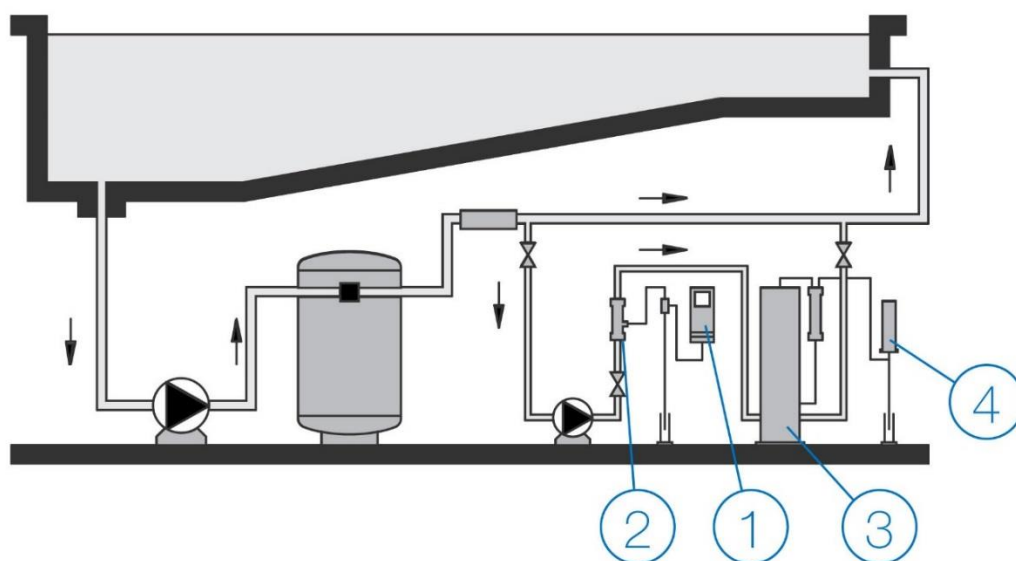


Рисунок 1.2 – Схема очистки води басейну озонуванням:

1 – генератор; 2 – інжектор Вентурі (водоструминний насос); 3 – контактна ємність; 4 – деструкція озону.

На рисунок 1.2 представлена типова схема системи озонування води в невеликому басейні. Устаткування для озонування зазвичай розташовується в технічному приміщенні відразу за фільтром. Газоподібний озон утворюється в генераторі (1), після чого він змішується з водою, яка надходить з контуру системи фільтрації. Далі суміш води з озоном на певний час надходить в контактну ємність (3), де озон реагує з органічними речовинами, бактеріями і вірусами. Надмірний газоподібний озон знищується в деструкції озону (4), де він перетворюється в кисень, який викидається в атмосферу. Очищена вода надходить знову в басейн.

Недоліки методу озонування води:

— метод є дорогим;

- озон – токсичний газ, тому будь-яке його використання вимагає ретельного контролю техніки безпеки;
- через насичення води озono-повітряною сумішшю вона набуває високу окислювальну здатність і стає корозійно-активною, що вимагає використання обладнання і матеріалів, стійких до озону (труби з ПВХ або нержавіючої сталі, реактори і ємності для зберігання озонованою води з ПВХ або бетону) і т.п.;
- при неправильному підборі режиму озонування води і дози озону можливе утворення побічних продуктів окислення, які погано видаляються в процесі очищення і можуть бути більш токсичні, ніж вихідні забруднення. У деяких випадках озонування води може викликати погіршення процесів коагуляції і, більш того, привнести в оброблювану воду хімічні забруднення в підвищених концентраціях, наприклад, фенолів;
- нетривалість впливу. Це пов'язано з тим, що озон швидко розкладається у воді і не володіє пролонгує бактерицидну дію;
- при озонуванні води багато органічних забруднень піддаються деструкції, в результаті збільшується кількість біо-з'єднань, що розкладаються, у воді підвищується концентрація так званого «асимільованого органічного вуглецю», який легко засвоюється мікроорганізмами, сприяючи їх життєдіяльності. Це створює сприятливі умови для повторного бактеріального забруднення очищеної води [15].

Ультрафіолетове опромінення води. Доведено, що ультрафіолетове опромінення води повністю виключає з її складу всі шкідливі мікроорганізми, які нині відомі науці. Вода очищається навіть від тих елементів складу, які залишилися після обробки хімічної і фізичної. При цьому незмінними залишаються органолептичні властивості води. Володіючи подібними перевагами, такий метод міг би бути названий найкращим, але, на жаль, він має і деякі мінуси.

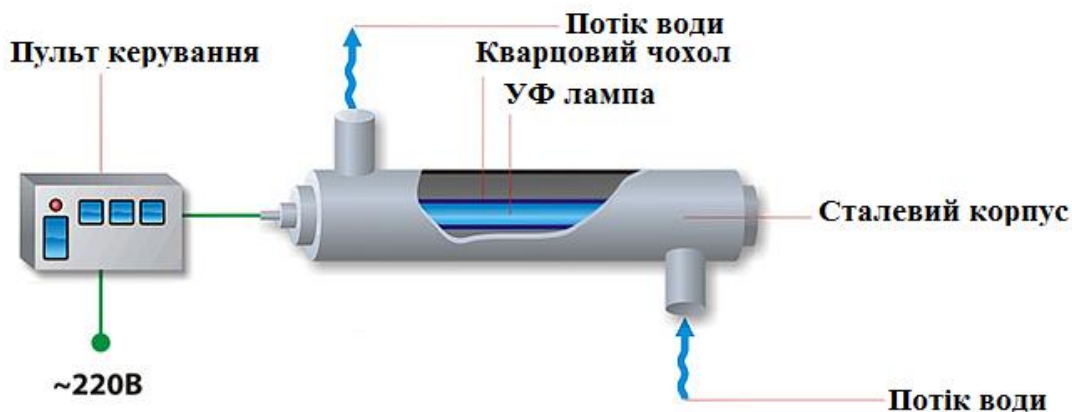


Рисунок 1.3 – Схема ультрафіолетового знезараження води.

Очищення опроміненням вкрай неефективна при сильній забрудненості води, не має вона і пост-дією, тобто не знищує бактерії і мікроорганізми, які потрапляють у воду після очищення. Тобто, ультрафіолетова очищення води ефективна тільки в тому випадку, якщо застосовується кожен день для очищення води в басейні. Тим більше, даний метод вимагає підключення до роботи кваліфікованого спеціаліста [13].

Іонізація води. Система очищення води для басейну, яка працює на іони кольорових металів, стала відома нам не дуже давно, хоча властивості, наприклад, міді і срібла, по відношенню до води, ми знаємо вже довгий час. Але, хай і з недавнього часу, але дані системи досить популярні. Іонізатори води ефективно справляються з забрудненнями, вступаючи в пряму реакцію з водою, але, на жаль, ніяк не впливають на грибки. На даний момент відомо кілька сучасних способів використання іонів кольорових металів для очищення води - прямий контакт води і металів, або використання спеціальних іонізаційних гармат, які насичують воду іонами. Ефективність іонізаторів досить спірне питання, так як при відмінному показнику знищення деяких мікроорганізмів, іони взагалі бездіяльні до інших, для роботи з подібними системами необхідний суворий контроль фахівців і так далі [13].

Очищення води в басейні активним киснем. Мабуть, даний метод очищення води в басейні найбільш ефективний для використання в домашніх басейнах невеликого обсягу, ніж в громадських басейнах. Технологія проста, і чимось схожа

з хлоруванням. Під час очищення води киснем, очищення також відбувається за рахунок додавання у воду хімічних реагентів. Гранули, порошок або спеціальна суміш засипають у воду і вступають в реакцію з киснем, який міститься у воді басейну. Дана реакція і працює, як очищення води в басейні. Але, ви обов'язково повинні знати, що подібні реагенти можуть швидко розкладатися у воді і не встигати виконувати своє завдання, а передозування для проведення остаточного очищення води може бути небезпечною для людини. Тому використовувати подібний метод слід вкрай обережно [13].

Відзначено, що жоден з, вище перерахованих, традиційних методів і засобів очищення басейнів не може виступати, як універсальний для всіх видів обробки води: від підготовки питної води до знезараження побутових і про-промислових стоків. Але досліджуються прогресивні напрямки очистки, серед яких необхідно виділити технології засновані на окислювальних процесах. До них відносять ряд методів, зокрема, плазмовий.

Найбільш ефективнішими методами переробки або знешкодження будь-яких відходів, в тому числі що містять мікроорганізми, є плазмові методи, так як температура плазми може бути вище температури дисоціації і іонізації будь-яких молекул, що забезпечує розпад будь-якої забруднюючої сполуки. А також ряд інших факторів, що впливають на якість очистки саме плазмовими методами (ударна хвиля, ультрафіолетове випромінювання, магнітне електричне поле, вільні радикали та інші). Тобто, електророзрядний метод очистки води можна вважати універсальним.

Дослідження вражаючої дії електричного поля і різного роду електричних розрядів на мікроорганізми, що знаходяться в воді, призводить до виникнення пролонгованої мікробної стійкості води (ПМУВ) – здатності води протягом багатьох місяців після обробки імпульсними електричними розрядами (ІЕР) зберігати вражаючу здатність щодо практично всіх відомих патогенних мікроорганізмів.

1.3 Електророзрядне очищення води басейнів

Суть електророзрядної технології знезараження води полягає у впливі на оброблювану воду високовольтним електричним розрядом, що викликає руйнування клітин мікроорганізмів (бактерій, вірусів) в першу чергу за рахунок ударної хвилі, що генерується у воді. Це пов'язано з тим, що розряд в двофазному середовищі дозволяє генерувати крім озону і УФ випромінювання ряд активних частинок (радикал OH , атомарний кисень, активні молекули і порушені частинки). Реакційна здатність у атомів кисню у багато разів вище, ніж у озону, а радикал OH є одним з найактивніших проміжних частинок. Наявність великої кількості цих частинок, що утворилися в результаті подальших перетворень, здатні розкласти будь-яку органічну речовину аж до повної мінералізації (до CO_2 і H_2O) або, принаймні, до форм, що легко піддаються біодеградації.

Розглянемо схему електророзрядної установки, яка представлена на рисунку 1, для знезараження води, насиченої патогенними бактеріями та іншими органічними сполуками [17].

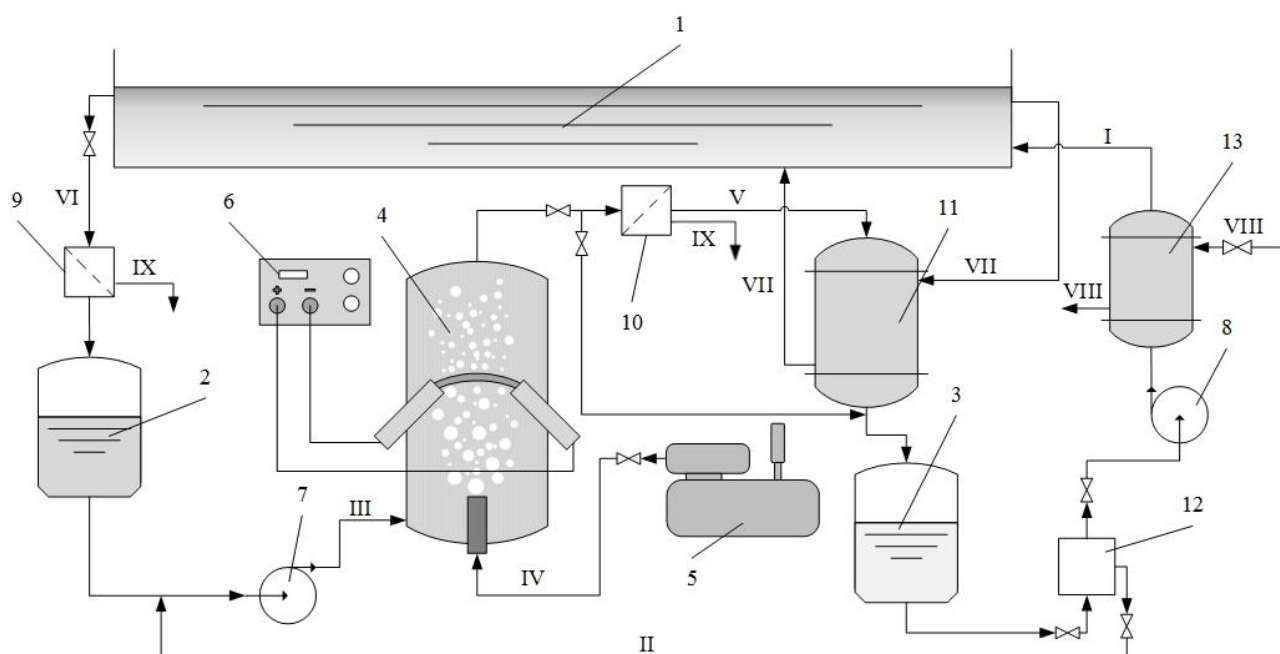


Рисунок 1 – Схема електророзрядної установки для очищення води:

1 – відкрита ємність; 2 – ємність для забрудненої води; 3 – ємність для обробленої води; 4 – електророзрядний модуль; 5 – компресор; 6 – височастотне інверторне

джерело високої напруги; 7, 8 – насос подачі води; 9, 10 – фільтри; 11, 13 – теплообмінники; 12 – система аналізу якості (електропровідність, pH). I – очищена вода; II – подача води на доочищення; III, VI – забруднена вода; IV – повітря; V – оброблена вода; VII – вода басейну, яка виступає холодоагентом; VIII – холодоагент, IX – осад.

Установка складається з ємності 2, в яку через фільтр 9 подається забруднена вода, і яка прокачується через електророзрядний модуль 4. Установка забезпечена системами подачі рідини і газу, а також засобами контролю і регулювання. Вода прокачується через установку за допомогою насосу 7. Електроди, що знаходяться всередині електророзрядного модуля, занурені в забруднену воду, де між ними виникає дуговий заряд. Високочастотне інверторне джерело високої напруги 6, здійснює електроживлення дуги.

Після електророзрядного модуля оброблена вода очищується у фільтрі 10 та подається до теплообмінника 11. Охолоджена вода потрапляє до ємності 3, далі прокачується через систему аналізу якості 12, де перевіряється її електропровідність та рівень pH. Якщо вода відповідає нормам то вона за допомогою насосу 8 відводиться потоком I до басейну, попередньо пройшовши повторне охолодження в теплообміннику 13, який охолоджується водою з трубопроводу (потік VIII). Однак якщо концентрація шкідливих речовин перевищує допустимі норми, то воду спрямовують на повторну очистку (потік II).

На межі розділу вода-повітря йде розряд, що дозволяє проводити глибоке очищення води з мінімальними енергетичними витратами навіть за наявності високостійких мікроорганізмів і хімічних реагентів, дезактивація яких іншими методами проблематична. В результаті дії на забруднену воду всієї сукупності факторів плазми на виході з установки отримуємо незаражену чисту воду[18].

1.4 Особливості керування процесами водоочищення басейнів

Ефективне використання басейнів передбачає необхідність постійного підтримання в них певних гідрокліматичних параметрів: вологості і температури повітря, температури води, хімічного складу води і повітря.

Для забезпечення необхідних параметрів стану середовищ басейнів ці об'єкти необхідно обладнати відповідними інженерними системами. До них відносяться системи водопідготовки, опалення, вентиляції та ін. Такі інженерні системи в ході свого функціонування повинні створювати в чашах басейнів середовище з заданими параметрами.

Для забезпечення формування та підтримки необхідних значень технологічних параметрів водного середовища, їх регулювання і управління ними, а також управління інженерними системами в цілому необхідне рішення задачі розробки відповідних технічних засобів АСУТП [20].

Запорукою стабільності якості водопідготовки є мінімізація впливу людського фактору на налагоджений технологічний процес, тому окремі блоки системи водопідготовки (наприклад, насосна група, озоногенератори, системи дозування реагентів, електророзрядні модулі та інші) в обов'язковому порядку обладнуються автономними системами управління.

У той же час можливі і більш високі рівні автоматизації, наприклад автоматизація управління роботою фільтрів, проте це вимагає додаткових витрат: за рахунок використання засувки з електроприводом, за рахунок елементної бази та програмного забезпечення. Окремі блоки можуть бути об'єднані в загальну централізовану систему диспетчеризації, керовану з комп'ютеризованого робочого місця.

Найбільш високим рівнем автоматизації є створення повної диспетчеризації зі створенням комп'ютеризованого робочого місця системи водопідготовки. Сюди стікається вичерпна інформація про стан всіх елементів системи водопідготовки, звідси можна керувати системою в цілому та її окремими елементами [19].

1.5 Постановка задачі

Проведений аналіз показав, що застосування електророзрядних технологій є важливою та складною задачею. Використання цього методу має ряд переваг і дозволяє проводити високоякісну очистку води за однією технологією від різних збудників та без додавання хімічних реактивів.

Тому метою роботи буде розроблення системи регулювання процесом електророзрядної очистки води басейнів. Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати технологічну схему процесу електророзрядної водообробки. Виконати аналіз схеми, як об'єкту автоматизації.
2. Провести експериментальний дослід використання електророзрядної очистки води від основних забруднювачів. Метою якого є визначення ефективності застосування технології.
3. Виконати аналіз та обробку результатів експериментальних дослідів, з метою встановлення витрат енергії на водоочистку та визначення ККД з використання пакетів Mathcad, Origin Pro та інших.
4. Визначення параметрів системи регулювання контуру стабілізації температури очищеної води, яка повертається в басейн.
5. В середовищі Trace Mode 6 виконати проект системи керування електророзрядною установкою.
6. Розробити та обґрунтувати основні аспекти економічної доцільності застосування електророзрядної технології у вигляді стартап проекту.

2. Експериментальне дослідження електророзрядного очищення води басейнів від основних забруднювачів.

2.1 Опис лабораторної установки

Проведено експериментальне дослідження ефективності водоочищення від основних забрудників на лабораторній установці (рисунок 2.1 а, б) електророзрядної очистки води. Мета якого дослідити ефективність, ступень очищення та витрати потужності на очистку води, що дозволить обрати кількість робочих модулів.

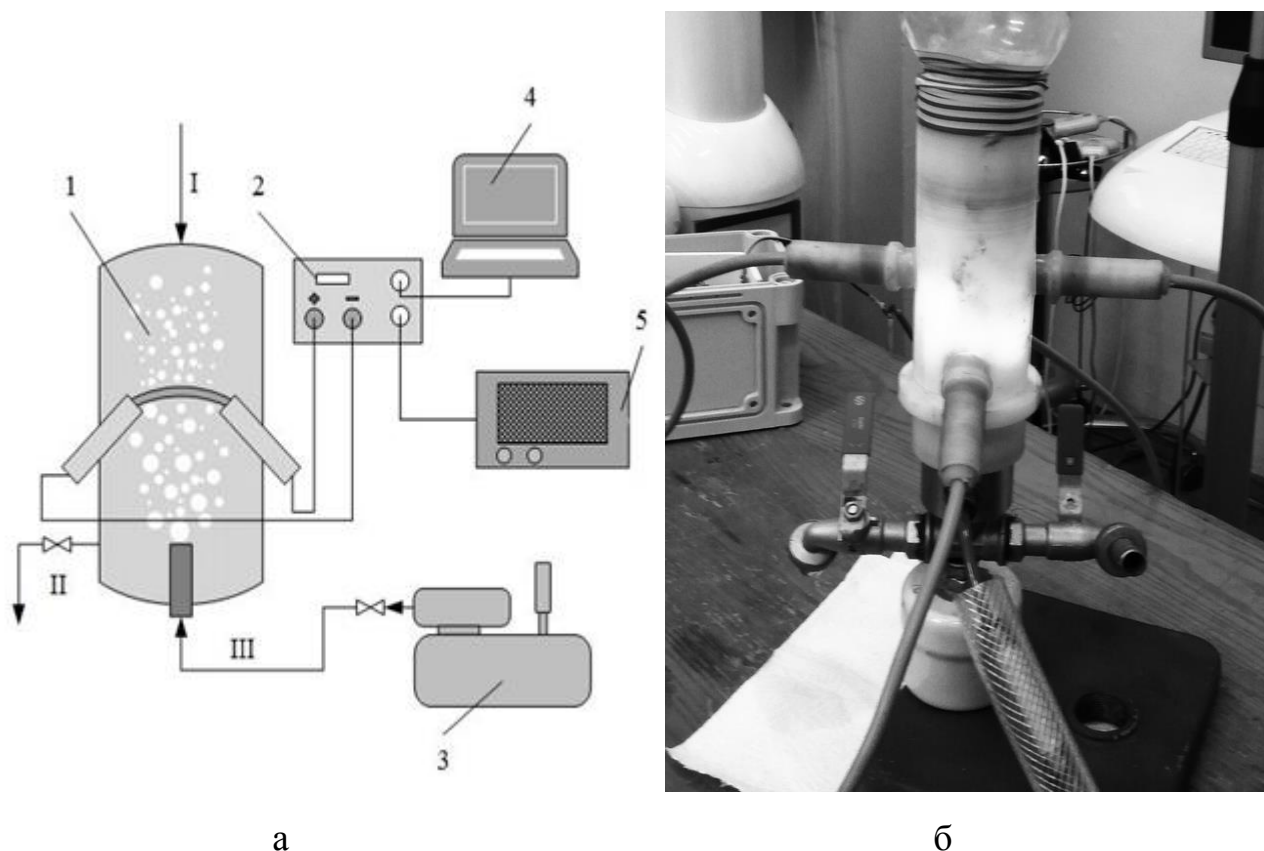


Рисунок 2.1 – Технологічна схема (а) та фото (б) лабораторної установки електророзрядної очистки забрудненої води.

1 – електророзрядний модуль; 2 – високочастотне інвенторне джерело високої напруги; 3 – компресор Werk №2016/04 0111538; 4 – персональний комп'ютер; 5 – осцилограф 3000 Series Scope Connect Software; I – модельний розчин; II – очищення вода; III – повітря.

Установка складається з електророзрядного модуля 1, в який подається модельний розчин потоком I. Компресор 3 забезпечує подачу газу потоком III. Електроди, що знаходяться всередині електророзрядного модуля, занурені в забруднену воду, де між ними виникає дуговий заряд. Високочастотне інверторне джерело високої напруги 2, здійснює електроживлення дуги.

Після електророзрядного модуля оброблена вода зливається за допомогою потоку II. Запис експериментальних осцилограм здійснюється за допомогою осцилографа 5 та зберігаються на персональному комп'ютері 4.

2.2 Розробка методики проведення експерименту.

Для ефективного дослідження електророзрядної технології було розроблено методику проведення експерименту, а саме:

1. Підготувати модельні розчини у потрібних відношеннях та концентраціях;
2. Перевірити електропровідність та рівень рН розчину. Якщо електропровідність розчину занадто велика (більше 10 000 СМ), потрібно підготувати новий розчин.
3. 200 мл модельного розчину подати у електророзрядний модуль.
4. Увімкнути живлення установки за допомогою пульта керування.
5. Увімкнути компресор для подачі газу у модуль.
6. Для фіксації часу проведення експерименту увімкнути таймер.
7. Записати показники часу, струму та напруги. Зберегти осцилограми на комп'ютері для подальшої обробки.
8. Після завершення експерименту необхідно злити очищену воду до мірного циліндру.
9. Провести заміри електропровідності та рівню рН очищеного розчину.
10. Занести всі отримані данні в журнал експерименту.
11. Отримані модельні та очищені розчини направити в хімічну лабораторію для проведення аналізів.

2.3 Аналіз результатів досліджень по очищенню води басейнів

Проведення експерименту за розробленою методикою:

1. Підготуємо модельні розчини:

- Перший розчин барвника метилфіолетовий у воді:

- Концентрація барвника – 10мг/дм^3
- Об'єм води – 1 літр

- Другий розчин УФ-блокаторів у воді:

- Концентрація крему – $0,4\text{г/дм}^3$
- Об'єм води – 1 літр

2. Перевіряємо електропровідність та рівень рН розчину.



а

б

Рисунок 2.2 –Вимірювання електропровідності (а) та рН рівня (б).

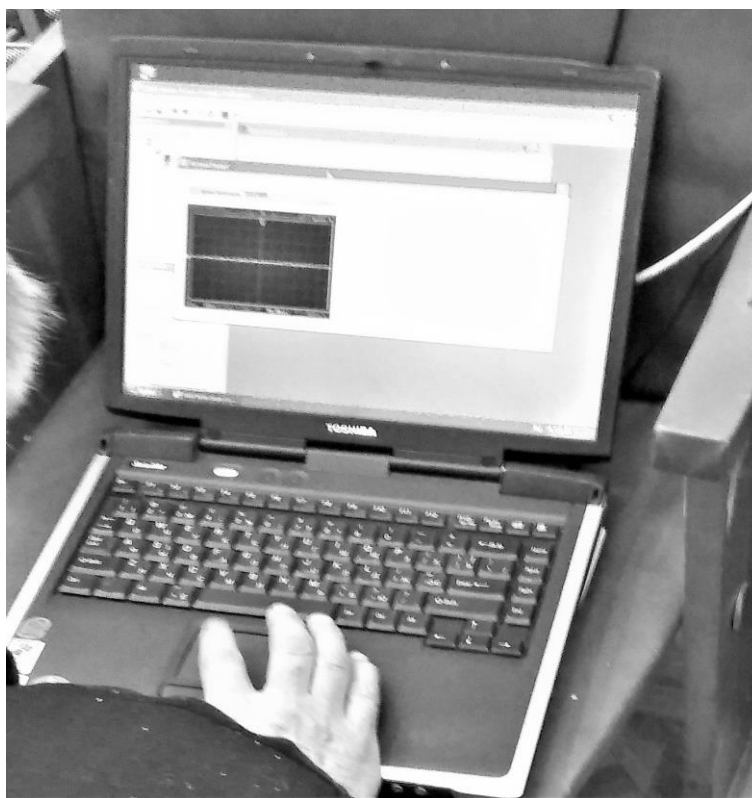
Для першого розчину: електропровідність становить 380СМ, а рівень рН – 8.1

Для другого розчину: електропровідність становить 300СМ, а рівень рН – 7.12

5. Вмикаємо компресор для подачі газу у модуль.



6. Для фіксації часу проведення експерименту включаємо таймер, для цього скористаємося телефоном.
7. Записуємо показники часу, струму та напруги. Зберігаємо осцилограми на комп'ютері для подальшої обробки.



8. Після завершення експерименту зливаємо очищену воду до мірного циліндру.
9. Проводимо повторні заміри електропровідності та рівню рН вже для очищеного розчину.
10. Заносимо всі отримані данні в журнал експерименту.

Після проведення експериментів модельні та очищені розчини були направлені хімічну лабораторію, де було виконано перевірку основних показників якості очищення води.

Аналіз проводився по таким параметрам, як:

Рівень рН – показник кислотності води. рН для басейнів становить від 7,2 до 7,6 одиниць, якщо він вище - вода лужна, а якщо рН нижче 7,2, то воду вважають кислотною.

TDS – число нерозчинних елементів або «загальна мінералізація». Для басейну значення TDS в ідеалі повинно бути не більше 450-500 мг / л, допустимо до 1000 мг / л, але ні в якому разі не більше, адже при такому показнику дезінфікуючі реагенти просто не будуть діяти.

ХСК – показник вмісту органічних речовин у воді. Нормативне значення для басейну знаходиться в межах 500 – 1000 мгО₂/дм³ згідно з ДСТУ [21].

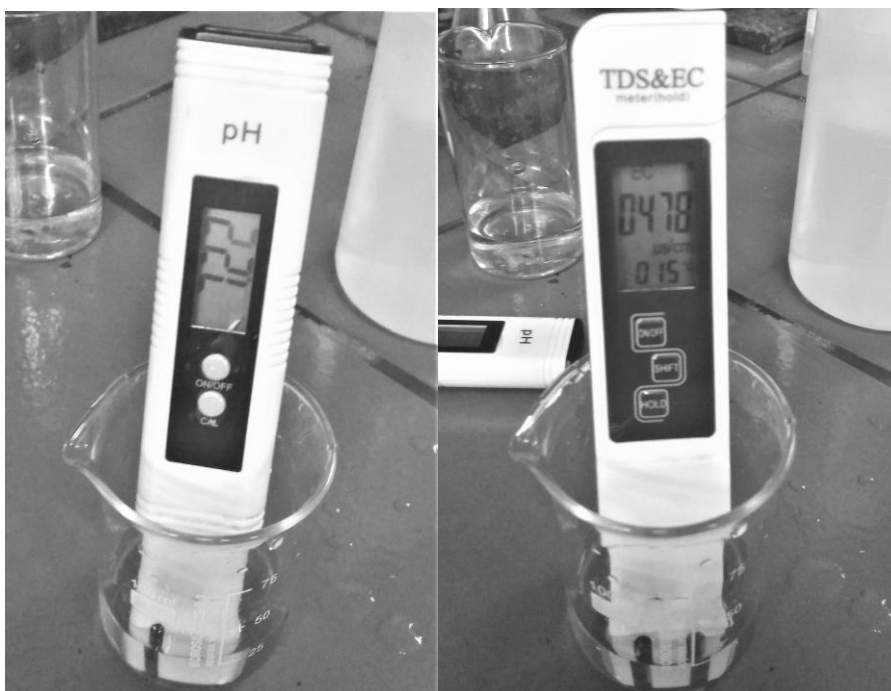


Рисунок 2.3 –Вимірювання рН рівня та числа TDS в хімічній лабораторії.

Нижче приведено таблиці аналізу деяких розчинів.

Таблиця 2.1 Хімічний аналіз барвника метилфіолетовий.

Модельний розчин			Оброблений розчин		
pH	TDS, мг/л	ХСК, мгО ₂ /дм ³	pH	TDS, мг/л	ХСК, мгО ₂ /дм ³
8,18	519	810,5	7,72	485	620,3

Також, для метилфіолетового барвника було проведено фотометричний аналіз. Було використано фотометр Unico та програмне забезпечення K3 Analyts.

Фотометрія (від грецького photos – світло і metreo – міряю) являє собою метод кількісного аналізу, особливо для визначення мікрокількостей речовин. Метод дає можливість визначити концентрацію речовини в розчині в тих випадках, коли речовина має власну забарвлення або набуває забарвлення шляхом впливу на нього відповідного хімічного реагенту.

Сутність фотометричного аналізу полягає в наступному: визначають зменшення інтенсивності потоку монохроматичного світла (тобто світла з певною, можлив, вузької областю спектра) після проходження його через певної товщини шар забарвленого розчину і, врахувавши закони світлопоглинання, роблять висновок про концентрацію розчиненої речовини.

Проведення аналізу:

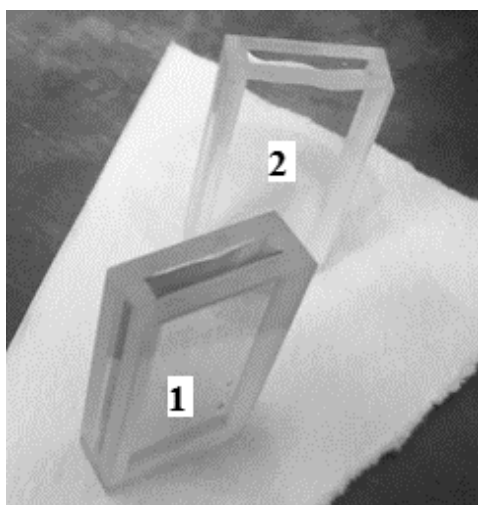


Рисунок 2.4 – Наповнені кювети фотометра. 1 – модельний розчин; 2 – оброблений розчин.

Кювети з розчинами встановлюються в фотометр.



Рисунок 2.5 – Підключення фотометра до програмного забезпечення.

Після проведення налаштувань запускається програма. На проведення аналізу потрібен час, тому для отримання графіків потрібно зачекати від 2 до 7 хвилин. Графіки результатів представлені на рисунках 2.4 та 2.5.

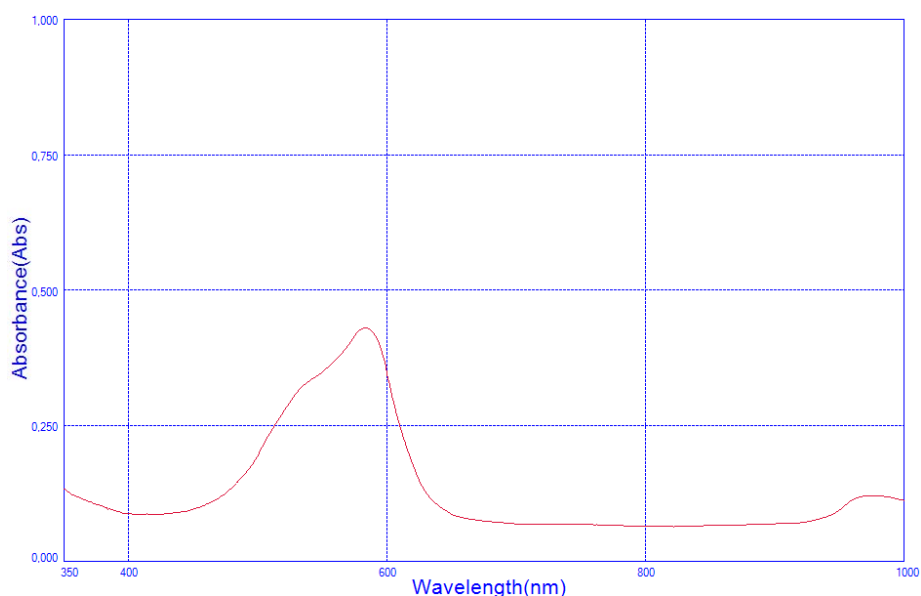


Рисунок 2.6 – Графік концентрації мікрочастинок в модельному розчині.

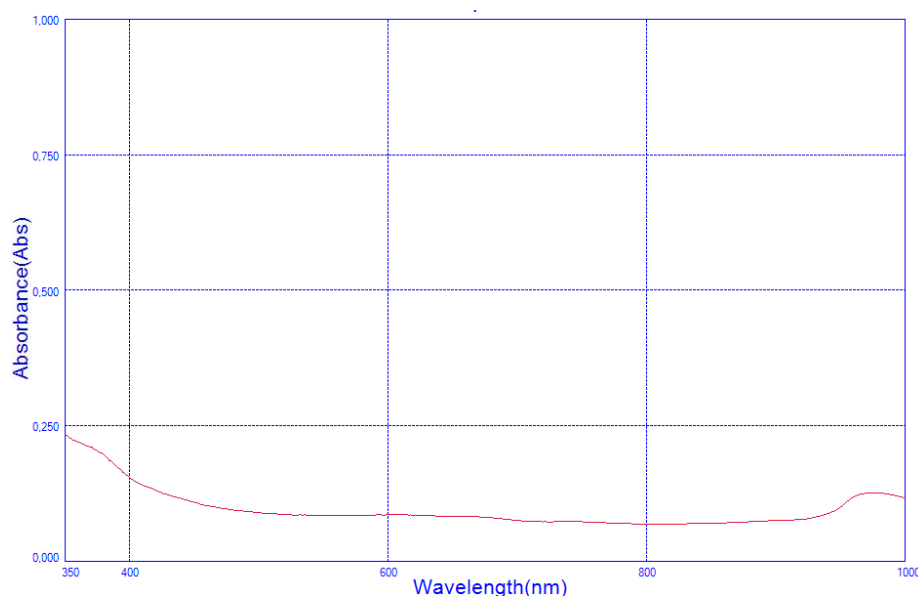


Рисунок 2.7 – Графік концентрації мікрочастинок в обробленому розчині.

Як можна побачити, на першому графіку присутній пік, а на другому – ні. З цього можна зробити висновок, що в обробленому розчині концентрація мікрочастинок значно зменшилось, а отже електророзрядне очищення модельного розчину було ефективне.

Таблиця 2.2 Хімічний аналіз УФ-блокаторів.

Модельний розчин			Оброблений розчин		
pH	TDS, мг/л	ХСК, мгО ₂ /дм ³	pH	TDS, мг/л	ХСК, мгО ₂ /дм ³
7,25	445	1200	7,15	421	1050

Таблиця 2.3 Хімічний аналіз розчину мідного купоросу CuSO₄ у воді (мідь).

Концентрація компонента у модельному розчині, мг/л	Концентрація компонента в обробленому розчині, мг/л
33,6	3,3

Таблиця 2.4 Хімічний аналіз розчину ZnCl₂ в технічній воді (цинк).

Концентрація компонента у модельному розчині, мг/л	Концентрація компонента в обробленому розчині, мг/л
3300	365

Протоколи на дані та інші хімічна аналізи розчинів приведені в додатку А.

Ефективність очистки води забрудненої бактеріальними мікроорганізмами, було експериментально встановлено на прикладі бактерії *Escherichia coli*. Залежність знезаражувальної здатності установки при знезараженні води в відношенні бактерій *Escherichia coli*, обробленої за допомогою електророзрядної технології, визначається як $\lg N_k/N_0$ (де N_0 - початкова концентрація бактерій у воді, N_k - кінцева концентрація життєздатних бактерій), від питомої енергії вкладеної в розряд, представлена на рис. 2.8. Ефективність знезараження пропорційна вкладеній електричній енергії. Характер представленої залежності зберігається також відносно бактерій *Klebsiella pneumonia*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Serratia marsescens*, *Citrobacter freundii*, *Bacillus subtilis* і спорів мікроскопічних грибів *Candida albicans*, *Ulocladium chartarum*, *Phaeococcomyces chersonesos* [17].

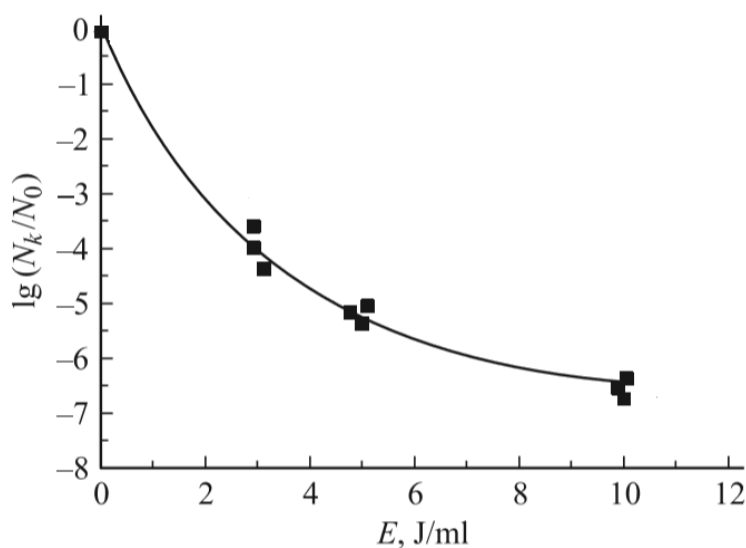


Рисунок 2.8 – Графік залежності знезаражувальною здатності води від питомої вкладеної в розряд енергії.

Експеримент показав, що знезаражувальна здатність води пропорційна прикладеній електричній енергії, тому можна стверджувати, що чим більша вкладена енергія, тим ефективніший процес знезараження води. Така залежність актуальна не лише для *Escherichia coli*, але й для інших патогенних бактерій [17].

2.4 Визначення електричних параметрів електророзрядного модуля

Важливим елементом дослідження є визначення витрат енергії на процес очищення забрудненої води до стану, при якому концентрації забруднюючих речовин задовольняють заданим нормам. Для цього при проведенні експериментальних досліджень по плазмохімічному очищенню забрудненої води були зняті осцилограми зміни току і напруги за допомогою осцилографа 3000 Series Scope Connect Software [18].

Розглянемо деякі осцилограми проведених експериментів, де наведені імпульси сили струму (1) та напруги (2) розряду на режимі, придатному для очищення модельних розчинів.

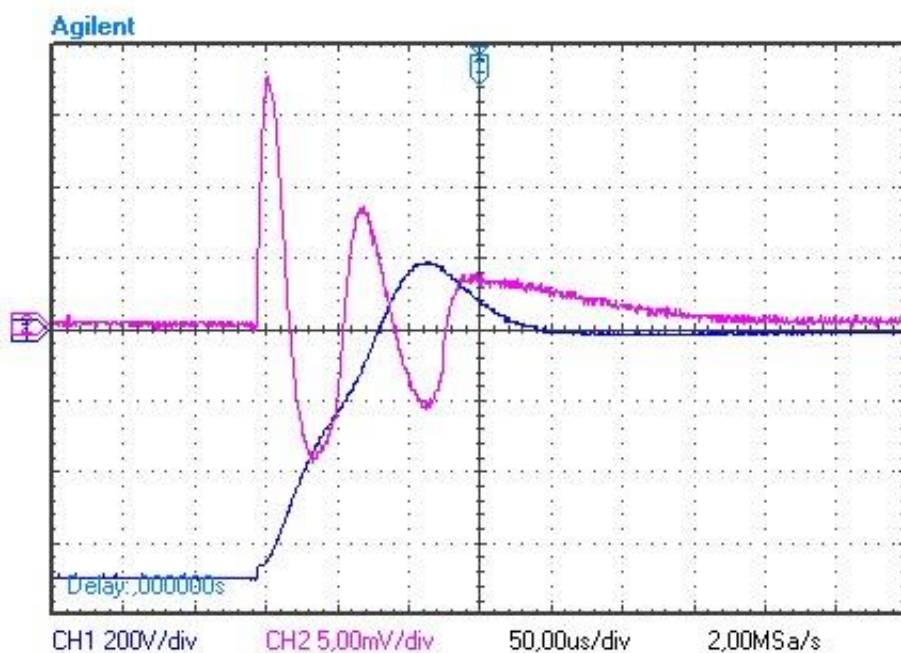


Рисунок 2.9 – Осцилограма імпульсу струму та напруги при очищенні від барвника метил фіолетовий на протязі 40 секунд.

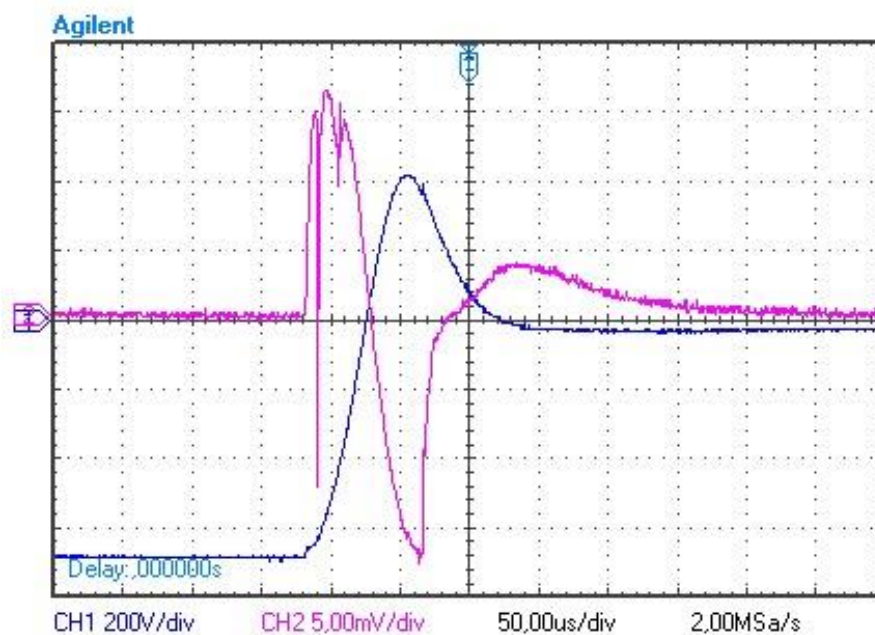


Рисунок 2.10 – Осцилограма імпульсу струму та напруги при очищенні від барвника метил фіолетовий на протязі 60 секунд.

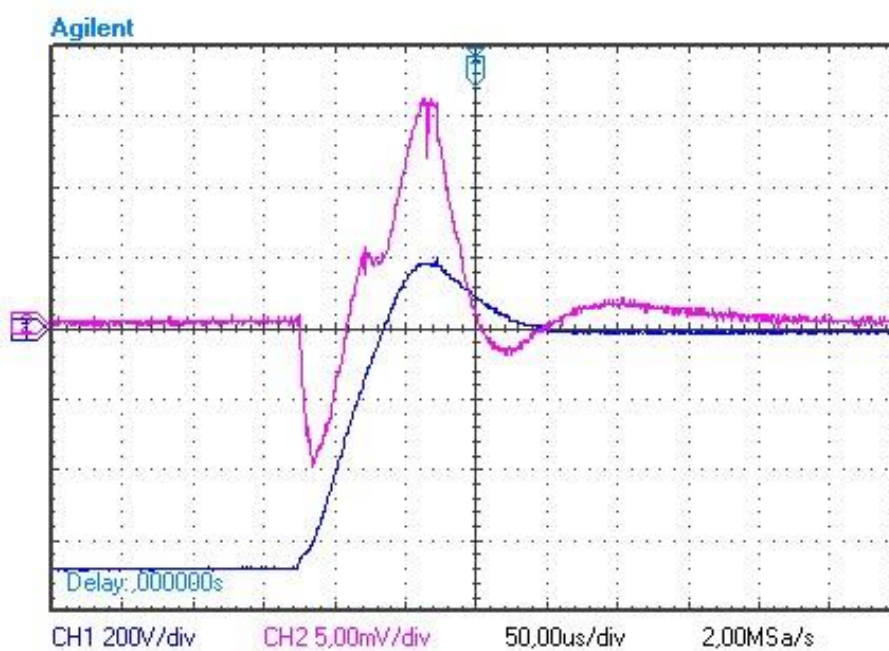


Рисунок 2.11 – Осцилограма імпульсу струму та напруги при очищенні від барвника метил фіолетовий на протязі 1,5 хвилини.

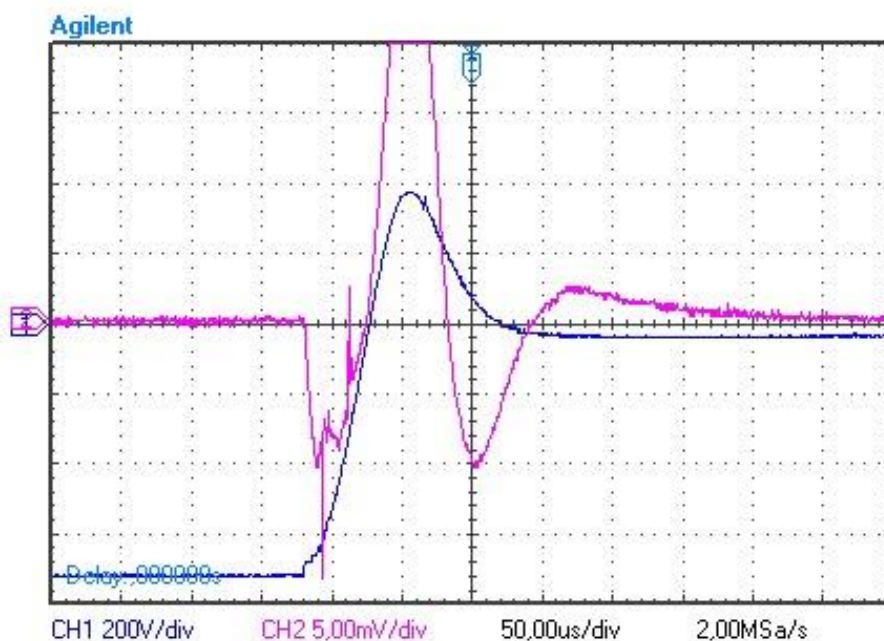


Рисунок 2.12 – Осцилограма імпульсу струму та напруги при очищенні від барвника метил фіолетовий на протязі 2 хвилини.

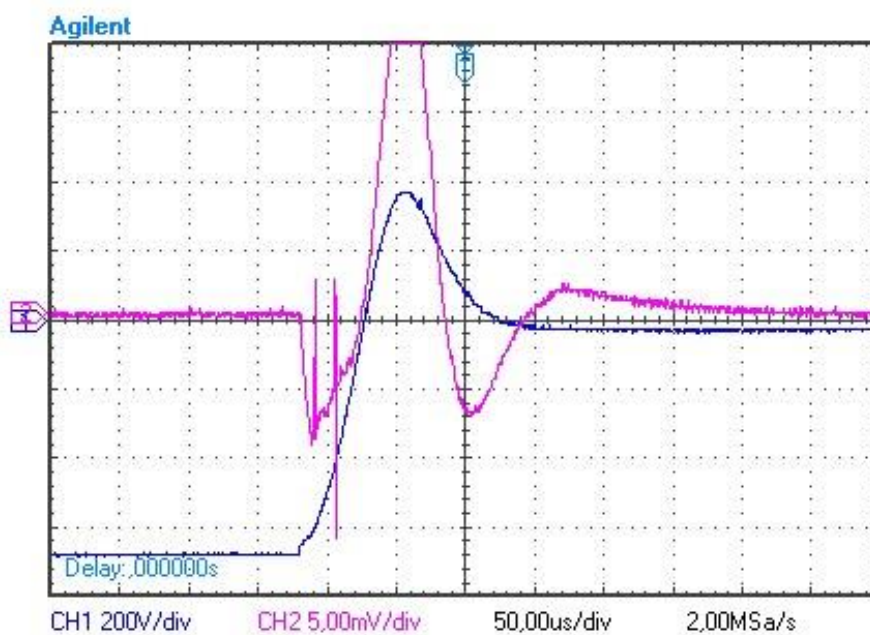


Рисунок 2.13 – Осцилограма імпульсу струму та напруги при очищенні від УФ-блокаторів на протязі 60 секунд.

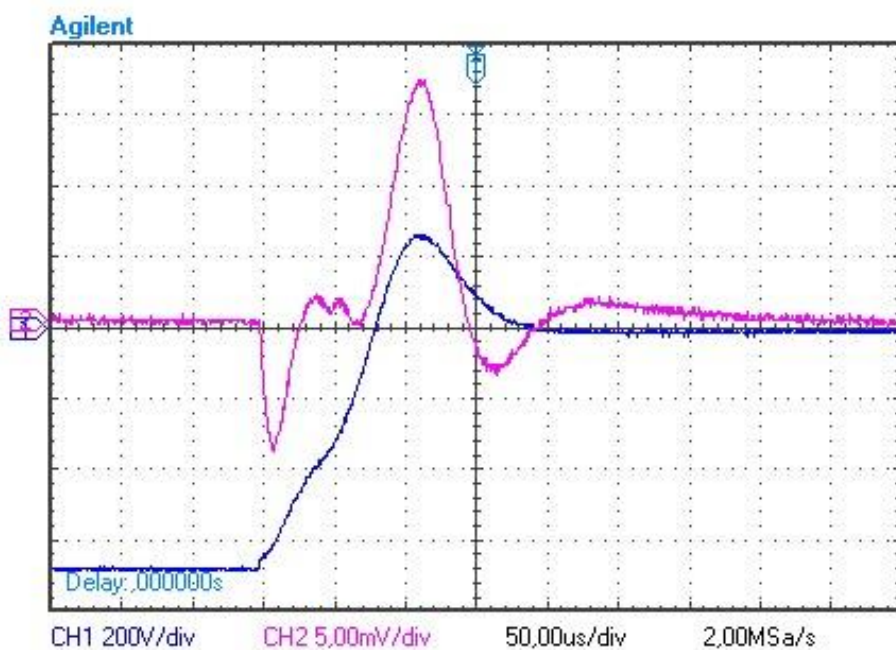


Рисунок 2.14 – Осцилограма імпульсу струму та напруги при очищенні від УФ-блокаторів на протязі 2 хвилини.

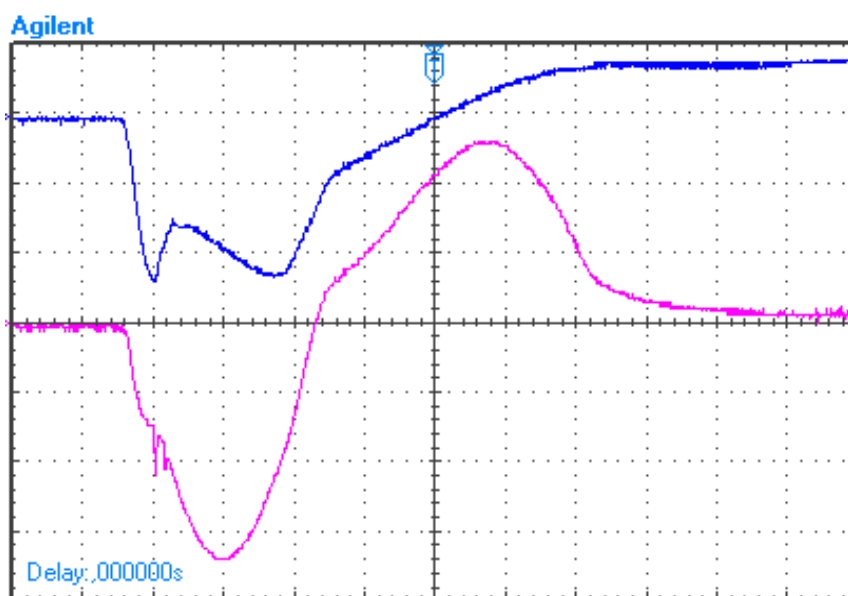


Рисунок 2.14 – Осцилограма імпульсу струму та напруги при очищенні від УФ-блокаторів на протязі 2,5 хвилини.

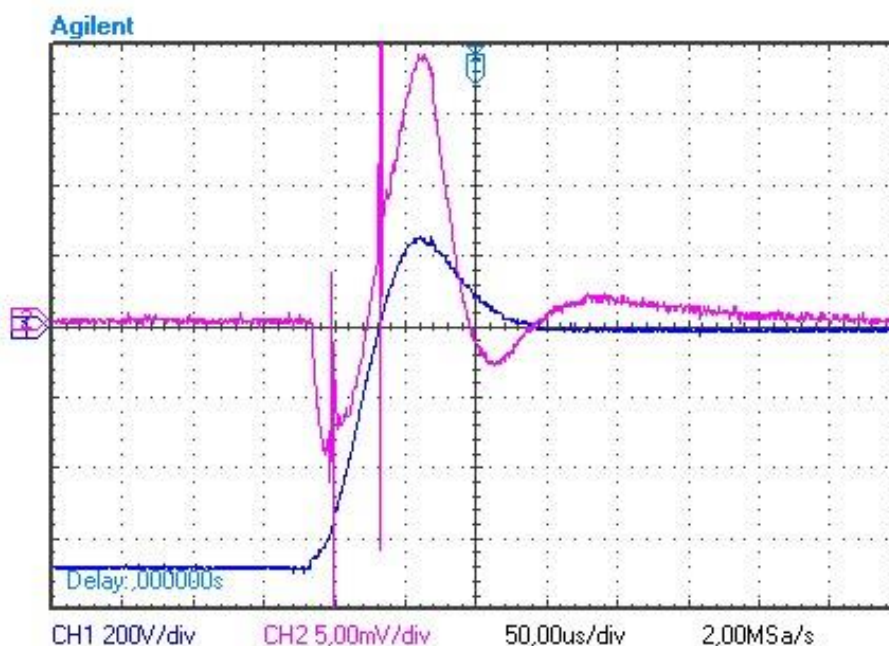


Рисунок 2.15 – Осцилограма імпульсу струму та напруги при очищенні від УФ-блокаторів на протязі 3 хвилини.

Після проведення експериментальних дослідів, аналізу осцилограм та отриманих результатів з хімічної лабораторії, можна зробити висновок, що застосування електророзрядних технологій для знезараження води басейнів є не тільки ефективним, а й доцільним. Аналізи показали покращення параметрів для кожного модельного розчину, що є досить високим показником якості даного методу.

3. Визначення витрат енергії на процес очищення забрудненої води

3.1 Алгоритм оцифровки графіків в програмі OriginPro 2017

На рис.3.1 наведена осцилограма імпульсу сили струму та напруги розряду на режимі, придатному для очищення забрудненої води.

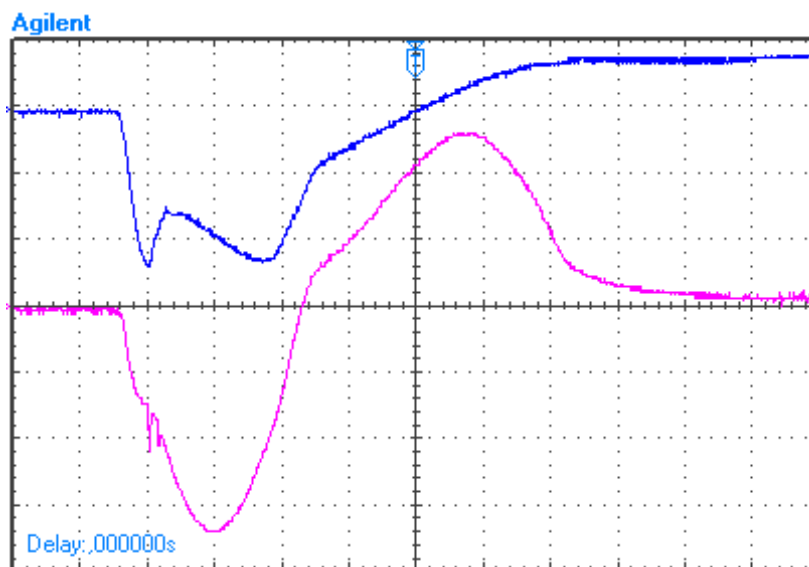


Рисунок 3.1 – Осцилограма імпульсу струму та напруги.

Так як нам потрібно знати безпосереднє значення параметрів процесу, було проведено аналіз та оцифровку осцилограм. Для цього було здійснено пошук програмного пакету, який би підходив для рішення поставленого завдання. Так як процес проходить дуже швидко, а саме 600 мкс, треба було обрати програму, за допомогою якої можна отримати значення у цифровому вигляді. У результаті пошуку було знайдено декілька програмних пакетів, із яких найкраще себе проявив OriginPro 2017.

Origin – пакет програм фірми OriginLab 2017 Corporation для чисельного аналізу даних і наукової графіки, що працює на комп'ютері під керуванням операційної системи Microsoft Windows.

Для виконання операцій можна використовувати, як інструменти графічного інтерфейсу користувача (діалоги / меню), так і викликати їх в програмах. В Origin включений власний компілятор C / C ++ з підтримкою та оптимізацією векторних і матричних обчислень.

Origin призначена для побудови двовимірної, тривимірної наукової графіки, яка створюється за допомогою готових шаблонів, доступних для редагування користувачем. Також можливо створювати нові власні шаблони. Після створення зображення воно може бути змінено за допомогою меню і діалогових вікон, що викликаються подвійним клацанням миші на його елементах. Можна експортувати отримані графіки і таблиці в ряд форматів, таких як PDF, EPS, WMF, TIFF, JPEG, GIF і ін.

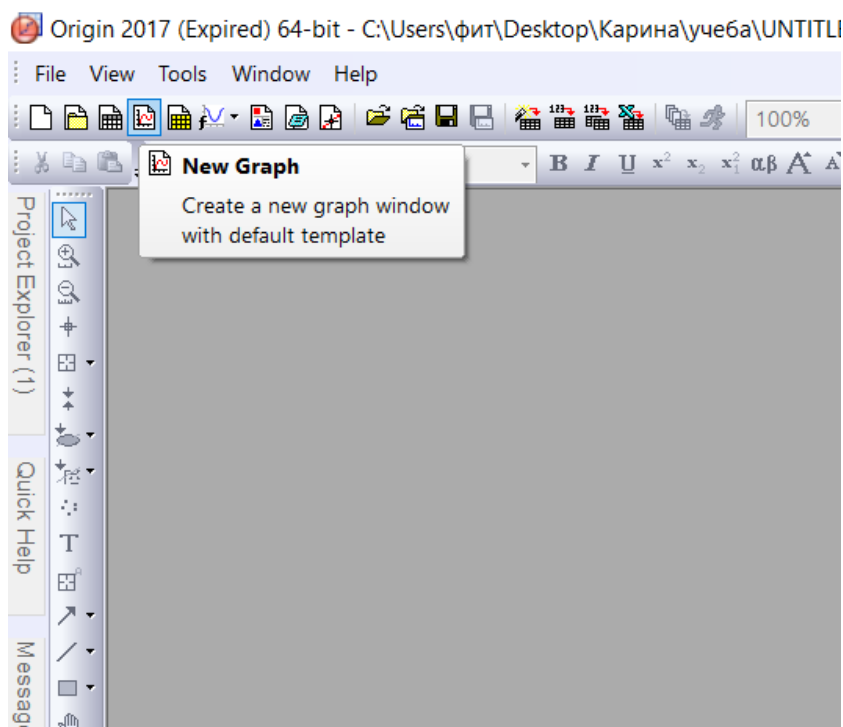
За допомогою Origin 2017 можна проводити чисельний аналіз даних, включаючи різні статистичні операції, обробку сигналів і т. п. [22].

Було розроблено алгоритм оцифровки графіків:

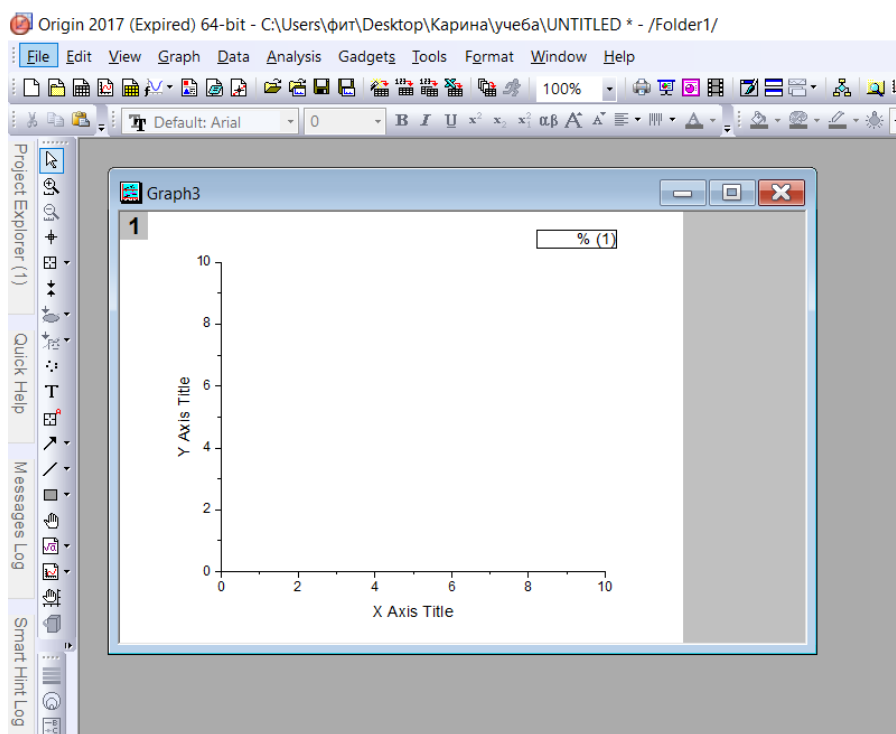
1. Введення даних – тобто на робочу зону програми потрібно завантажити малюнок з графіком, який потрібно оцифрувати.
2. Налаштування графічного зображення – для того, щоб перенесення даних було виконано правильно потрібно налаштувати осі та значення графіка.
3. Виклик функції “Draw data” – на панелі інструментів знаходимо функцію “Draw data”, з допомогою якої ми зможемо оцифрувати графік.
4. Розстановка маркерів на графіку – функція “Draw data” передбачає розстановку маркерів по лінії намальованого графіка. Маркери розставляються вручну.
5. Виклик процедури “Go to...” для переведу координат маркерів в масив даних – коли маркери розставлені, викликаємо їх контексте меню, та обираємо “Go to...”.
6. Експорт отриманих значень в вікно побудови таблиці – після цього отримуємо табличку з координатами наших даних, які легко можна переносити в будь-які математичні пакети і не тільки.

Саме за таким алгоритмом було проведено оцифровку робочої осцилограми:

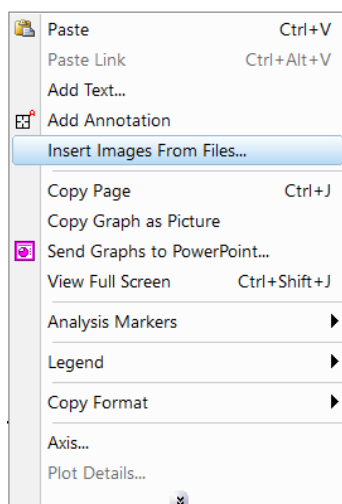
1. Створити новий графік. Для цього потрібно натиснути  на панелі інструментів.



Після чого відкриється новий макет графіка, з яким продовжимо роботу.

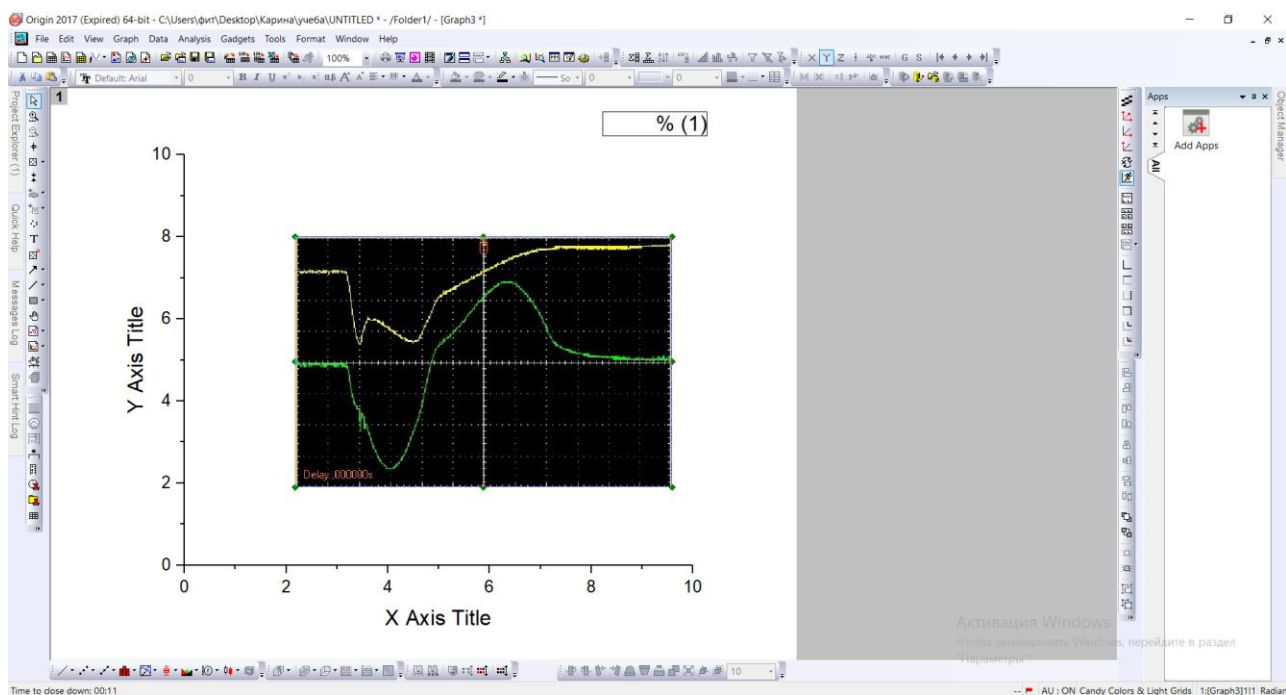


Натискаємо правою кнопкою на макет, з контекстного меню вибираємо «Імпорт зображення з файлу».

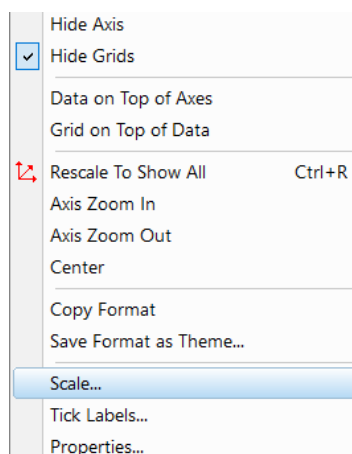


Вибираємо файл, що нас цікавить і натискаємо «OK»

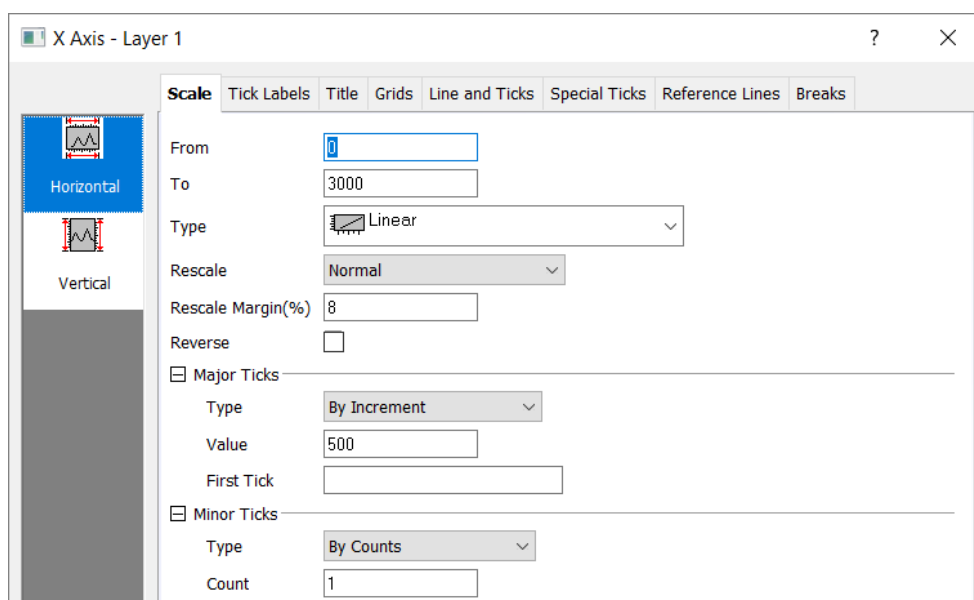
Як ми можемо бачити, наша картинка з'явилася на нашому макеті.



2. Відкриваємо контекстне меню осі і переходимо до її налаштувань.

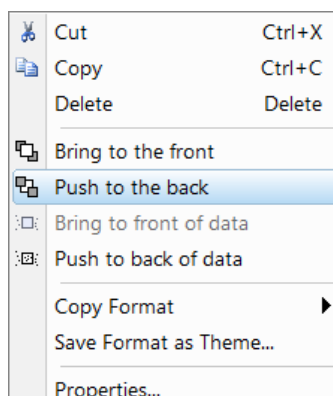


У вікні, що відкрилося задаємо мінімальне і максимальне значення осі X.



Аналогічно проробляємо для осі Y.

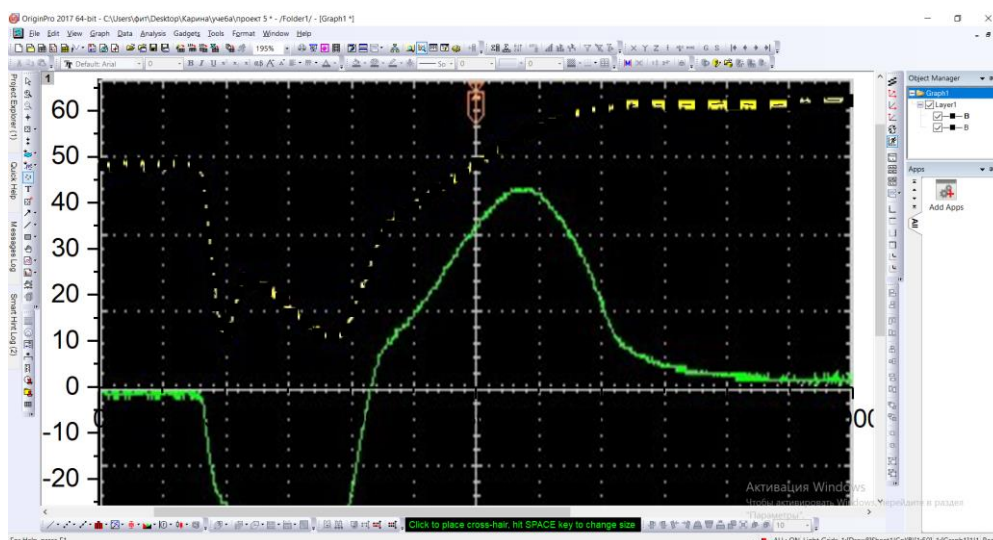
За допомогою контекстного меню нашого малюнка, пересуваємо його на задній план. Щоб наші осі накладалися на намальовані.



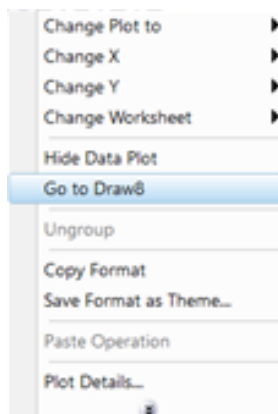
Після цього, підстроюємо наш малюнок під нову систему координат.

3. Далі, натискаємо на кнопочку  на боковій панелі.

4. За допомогою подвійного кліку відзначаємо точками весь графік. Підбираючи потрібну кількість точок, щоб якомога точніше описати графік. (Макс 50. Іноді доводиться використовувати функцію кілька разів і «склеювати» криву)



5. Коли потрібна нам крива повністю виділена. Викликаємо контекстне меню цих точок. І вибираємо пункт «Go to ...».

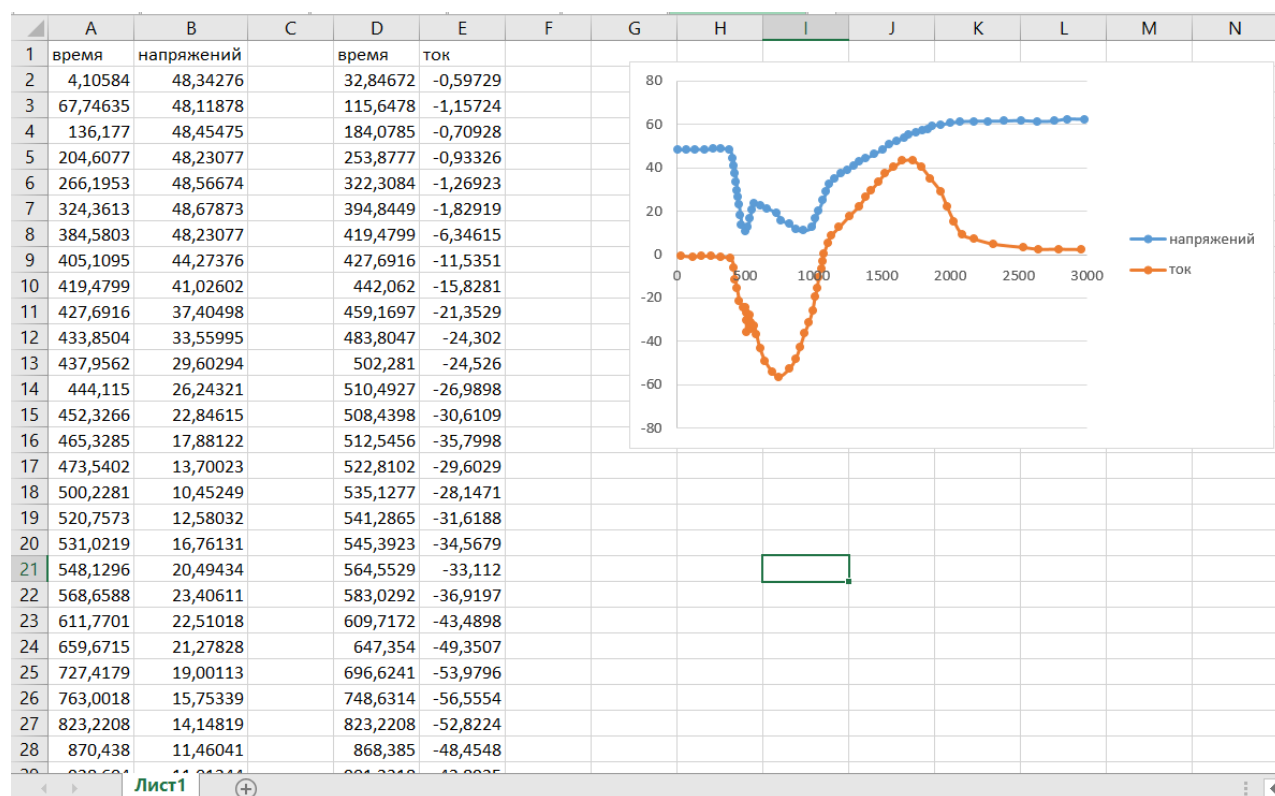


6. У підсумку ми отримуємо невелику табличку зі значеннями XУ для нашої кривої.

OriginPro 2017 64-bit - C:\Users\фит\Desktop\Карина\учеба\проект 5 * - /Folder1/ - [Draw8

	A(X)	B(Y)
1	4,10584	48,34276
2	67,74635	48,11878
3	136,17701	48,45475
4	204,60766	48,23077
5	266,19526	48,56674
6	324,36131	48,67873
7	384,58029	48,23077
8	405,10949	44,27376
9	419,47993	41,02602
10	427,69161	37,40498
11	433,85036	33,55995
12	437,9562	29,60294
13	444,11496	26,24321
14	452,32664	22,84615
15	465,32847	17,88122

Проробивши все це для кривих, що нас цікавлять. Ми можемо перенести таблицьки зі значеннями і побудувати графік.



Як висновок, малюнок з графіками перетворився в повноцінний електронний графік з таблицьками значень.

3.2 Розрахунок миттєвої потужності, енергії та ККД

Електрогідравлічний ефект являє собою високовольний електричний розряд в рідкому середовищі. При формуванні електричного розряду в рідині виділення енергії відбувається в перебігу досить короткого проміжку часу. Потужний високовольний електричний імпульс з крутим переднім фронтом викликає різні фізичні явища. Такі як поява надвисоких імпульсних гідравлічних тисків, електромагнітне випромінювання в широкому спектрі частот аж, при певних умовах, до рентгенівського. Зазначені фактори роблять на рідину і поміщені в неї тіла різні фізико-хімічні впливи.

Даний процес представлено на осцилограмі (рисунок 3.1). Отримані дані та дані оцифровки дозволили провести аналіз і виділити фази розряду.

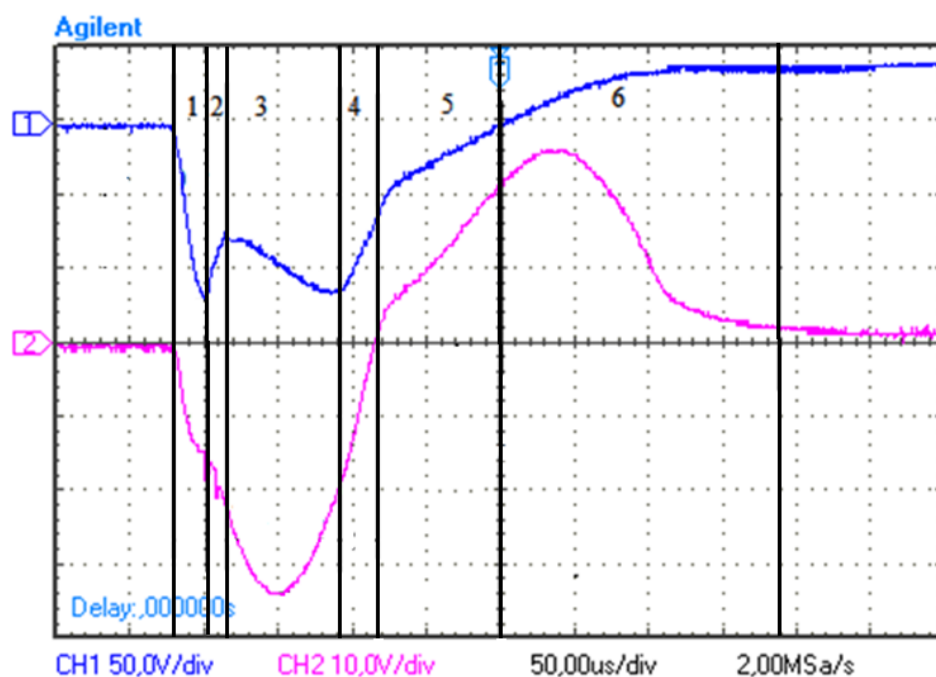


Рисунок 3.2 – Осцилограма імпульсу струму та напруги поділена на фази розряду.

Досліджуються наступні фази:

- 1 – зростання напруги до пробою 20 кВ;
- 2 – пробій з падінням напруги до 3 кВ;
- 3 – горіння перехідного розряду – напруга збільшується до 10 кВ і струм збільшується до 50 А;

4 – перехід в дуговий розряд з падінням напруги до 2 кВ і зростанням струму до 60 А;

5 – загасання розряду з переходом струму через нуль;

6 – зворотний імпульс із збудженням високочастотних коливань.

В математичному пакеті Mathcad розрахована потужність на всіх фазах і був побудований графік її залежності від часу горіння розряду (рисунок 3.3). Згадані вище фази, які протікають в розряді, на графіку зображені вертикальними лініями [18]. Розрахунок було проведено за формулою:

$$p = I \cdot U, \quad (3.1)$$

де I – змінний струм, U – напруга.

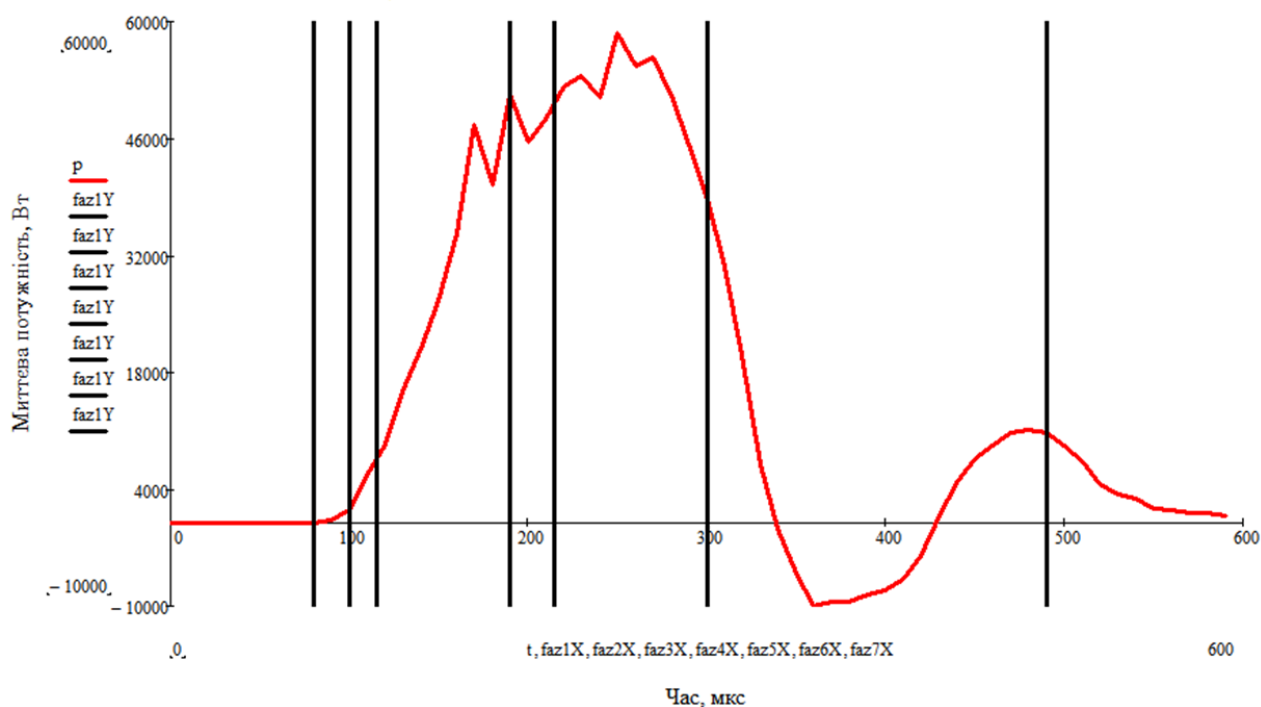


Рисунок 3.3 – Залежність миттєвої потужності від часу горіння заряду.

Вклад енергії для розряду (рисунок 3.4) розраховано за методом трапецій:

$$E = \frac{h}{2} \times \left[(y_0 + y_n) + 2 \times \sum_{i=1}^{n-1} y_i \right] \quad (3.2)$$

де E – енергія; h – крок; y_0 – початкове значення потужності; y_n – кінцеве значення потужності; y_i – i -те значення потужності.

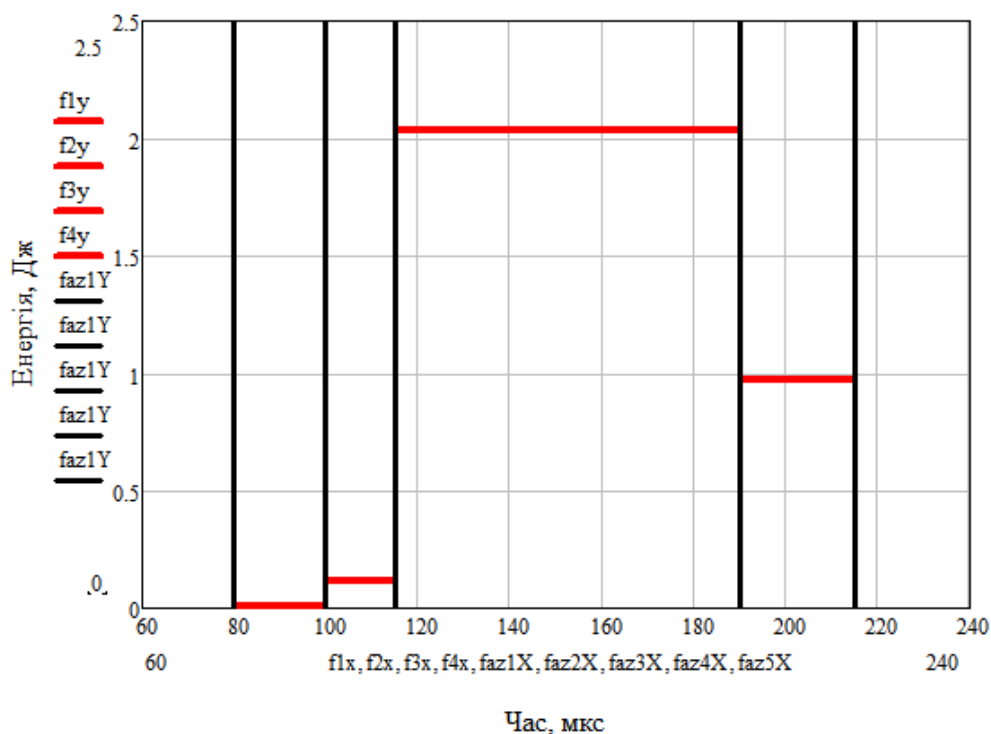


Рисунок 3.4 – Вклад енергії в розряд.

Такі розрахунки дозволяють визначити параметри роботи електророзрядного модуля для мінімізації витрат енергії на проведення процесу очищення води від конкретної речовини та розрахувати повний вклад енергії та сумарний коефіцієнт корисної дії установки. Для даного розряду повний вклад енергії дорівнює 3.127, а сумарний ККД – 0.042.

Алгоритм розрахунку та листи Mathcad наведені в додатку В.

Отже, розроблені алгоритми оцифровки та розрахунку миттєвої потужності та енергії, яка витрачається на оброблення забрудненої води дозволяють визначити енергію, яка необхідна для потрібного ступеню очистки води, і тим самим мінімізувати витрати електроенергії на проведення процесу очищення і виконати правильний підбір параметрів роботи електророзрядного модуля.

4. Розробка системи керування електророзрядним модулем очищення води басейнів

4.1 Аналіз процесу електророзрядної очистки води басейнів, як об'єкту керування.

Розробка системи автоматизації є досить важливим етапом проектування водоочищення басейнів плазмовими методами, оскільки на даному етапі визначають основні параметри роботи установки і методи підтримки цих параметрів на заданому рівні. Підтримка необхідних значень параметрів, для електророзрядної технології, дуже важливо, так як водоочищення потребує контролю параметрів якості очищеної води відповідно до екологічних та санітарних нормативів.

Автоматичний контроль та керування роботи установки забезпечують високу якість водоочищення, раціональне використання енергії, подовження термінів міжремонтного пробігу устаткування, відсутність потреби в технічних спеціалістах.

Впровадження спеціальних автоматичних пристроїв сприяє безаварійній роботі устаткування, виключає випадки травматизму, попереджає автоматичний контроль рівню забруднення води.

В процесі застосування електророзрядної технології для очищення води басейну важливим є:

- температура очищеної води на повернення в басейн не повинна перевищувати 28 – 30 °С;
- контроль електропровідності та рівню рН після очищення води;
- витрата енергії на водоочищення електророзрядним методом.

На підставі даного аналізу технологічної схеми було визначено необхідний рівень автоматизації процесу очищення електророзрядними технологіями, обрано об'єкти автоматизації, обрано регульовані і регулюючі параметри, визначено параметри контролю.

Для обраних параметрів було визначено необхідну точність вимірювання і регулювання (норми технологічного режиму) та діапазони їх можливої зміни. В

процесі очищення плазмовими методами використовуються височастотне інвенторне джерело високої напруги, тому автоматизацію виробництва необхідно проводити за допомогою спеціальних вибухобезпечних приладів та виконавчих механізмів.

Дані про необхідні параметри регулювання та контролю виробництва наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри контролю виробництва.

№ Конт.	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	5
1	Трубопровід VI перед насосом 9	Витрата	Контроль
2	Фільтр	Тиск	Контроль
3	Ємність 2	Рівень	Контроль
4	Трубопровід III перед електророзрядним модулем 4	Витрата	Контроль, регулювання
5	Джерело живлення 6	Напруга	Контроль
6	Компресор 5	Витрата	Регулювання
7	Трубопровід IV перед електророзрядним модулем 4	Витрата	Контроль
8	Теплообмінник 11	Температура	Контроль, регулювання
9	Ємність 2	Рівень	Контроль
10	Теплообмінник 13	Температура	Контроль, регулювання

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	5
11	Трубопровід II на повторене очищення	Витрата	Контроль
12	Трубопровід перед насосом 8	Витрата	Контроль
13	Трубопровід VIII холодоагент теплообмінника 13	Витрата	Контроль, регулювання

На основі обраних контурів було розроблено мнемосхему схему керування процесом електророзрядної очистки води басейну.

4.2 Розрахунок контуру регулювання температури повернення очищеної води в басейн

Процес електророзрядного очищення води проходить при досить високих температурах (більше 1000°C) питання охолодження очищеної води набуває актуальності.

Окрім нормативів якості показників хімічного складу води, існують чіткі вимоги що до температури води в чаші басейну. Саме тому потрібно передбачити регулювання контуру стабілізації температури очищеної води для повернення в басейн (рисунок 4.1). Для точного контролю параметрів регулювання було обрано ПД-регулятор.

Призначення ПД-регулятора – підтримка заданого значення x_0 деякої величини x за допомогою зміни іншої величини u . Значення x_0 називається заданим значенням, а різниця $e = (x_0 - x)$ – неузгодженістю або відхиленням величини від заданої [23].

Передавальна функцію об'єкта, який можна описати аперіодичною ланкою першого порядку:

$$Ty' + y = kx \quad (4.1)$$

де T – постійна часу, яка визначає інерційність ланки; k – коефіцієнт передачі.

Виконаємо перетворення за Лапласом:

$$Tp\bar{y} + \bar{y} = k\bar{x} \quad (4.2)$$

Тоді:

$$(Tp + 1)\bar{y} = k\bar{x} \quad (4.3)$$

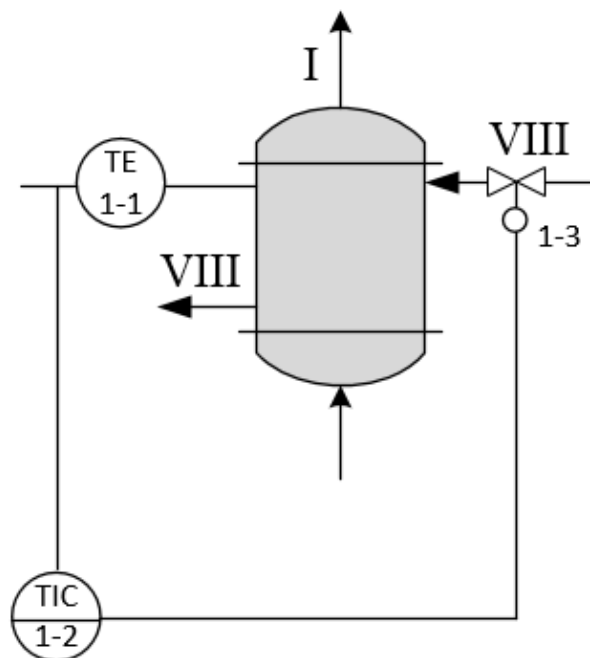


Рисунок 4.1 – Контур стабілізації температури очищеної води для повернення в басейн.

Передавальна функція ланки буде:

$$W(p) = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} = \frac{k}{Tp + 1} \quad (4.4)$$

В даному випадку передавальна функція матиме вигляд:

Передавальна функція за каналом витрата охолоджуючої води – температура отримана апроксимацією експериментальних даних ланкою першого порядку із запізненням τ :

$$W(p) = \frac{k}{Tp+1} e^{-p\tau} \quad (4.5)$$

$e^{-p\tau}$ – характеризує запізнення.

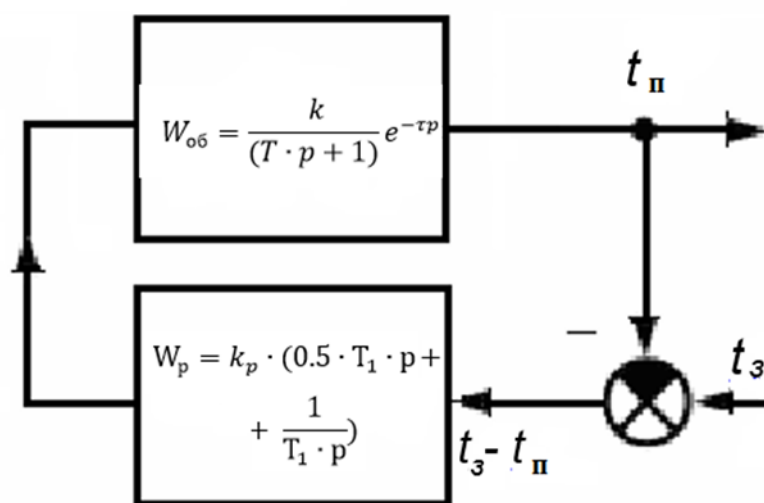


Рисунок 4.2 – Система регулювання.

Рівняння ПІД-регулятора має вигляд:

$$\mu = k \left(\varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon dt + T_{np} \varepsilon' \right) \quad (4.6)$$

де T_i , T_{np} – постійні часу інтегральної та диференціальної складових; k – коефіцієнт передачі; ε – сигнал неузгодження, що подається на вхід регулятора; μ – регулюючий вплив на виході регулятора.

Передавальна функція ПІД-регулятора:

$$W(p) = k \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_{np} p \right) \quad (4.7)$$

Алгоритм налаштування ПІД –регулятора:

1. Будується АФХ об'єкту.

2. Будують промінь пуд кутом $\beta = \arcsin(\frac{1}{M})$ до від'ємної дійсної піввісі.
3. Задаємося значенням $\alpha=0,5$.
4. Задаємося значенням T_{i1} .
5. Будують АФХ розімкненої системи при $K_p=1$, $T_i = T_{i1}$
6. Будують М-коло з центром на від'ємній дійсній піввісі, яке одночасно дотикається до променя і до АФХ розімкненої системи.
7. Визначають радіус отриманого кола r .
8. За формулою (1.4) визначають необхідний коефіцієнт підсилення регулятора K_p .

$$K_p = \frac{1}{r} * \frac{M}{M^2 - 1} \quad (4.8)$$

9. Отримаємо 4-5 пар налаштувань, знаходимо оптимальні для даного α , шляхом побудови графіка (K_p , T_i).

10. За результатами розрахунків в площині параметрів налаштувань регулятора K_p та T_i будують границю області запасу стійкості. У цій області максимум АЧХ замкненої системи не буде перевищувати заданої величини [23].

Алгоритм розрахунку ПД-регулятора у вигляді блок-схеми наведений на рисунку 4.1.

Розрахунок налаштувань ПД регулятора

1) Вводимо задані параметри передавальної функції об'єкта:

$$T = 12; k = 32; M = 1,6; \tau = 7$$

2) Записуємо передавальну функцію об'єкта:

$$W_{об} = \frac{k}{(T \cdot p + 1)} e^{-\tau p} \quad (4.9)$$

3) Знаходимо передавальну функцію ПД регулятора:

$$W_p = k_p \cdot (0.5 \cdot T_1 \cdot p + \frac{1}{T_1 \cdot p}); k_p = 1 \quad (4.10)$$

4) Розраховуємо передавальну функцію об'єкта і регулятора при розімкненій системі за формулою:

$$W_{\text{роз}} = W_{\text{об}} \cdot W_p \quad (4.11)$$

Проведемо заміну p , у формулах (4.4) і (4.5) на $j\omega$:

$$W_{\text{роз}}(\omega) = W_{\text{об}}(\omega) \cdot W_p(\omega) \quad (4.12)$$

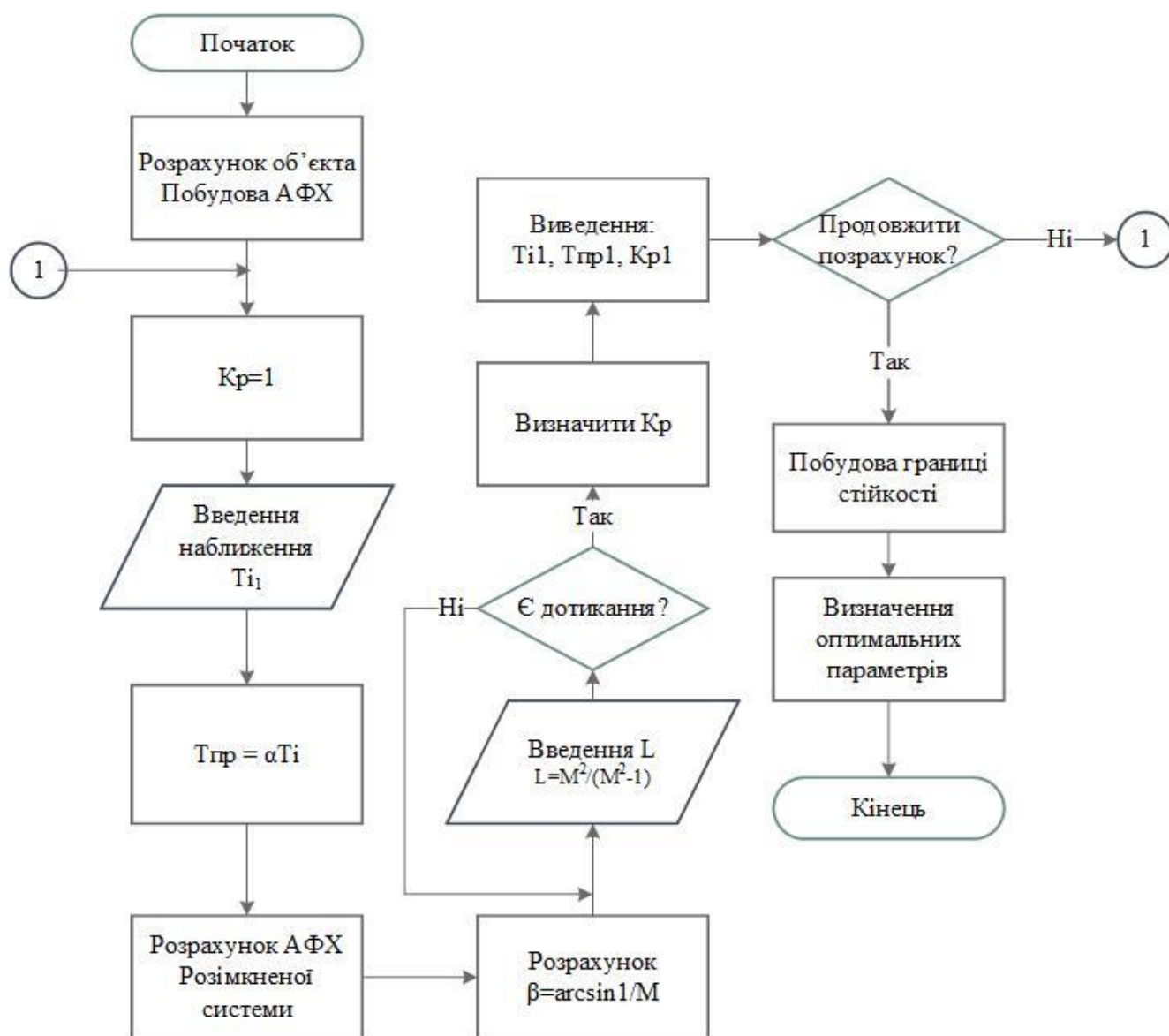


Рисунок 4.1 – АФК розімкненої системи з ПД регулятором

Підставивши у формулу (4.12) значення всіх відомих параметр будуюмо АФХ розімкненої системи (рисунок 4.2):

Знаходження оптимального значення коефіцієнта пропорційності

I-ша пара налаштувань:

- 5) Задаємо постійне значення $K_{p1} = 1$ та задаю значення $T_i = 0,001$
- 6) Будуємо промінь під кутом $\beta = \arcsin \frac{1}{M}$ (рисунок 4.2);
- 7) Задаємо значення $M=1.6$ будуємо М-коло (рисунок 4.2)
- 8) Задаємо приблизне значення $L1 = 9 \times 10^3$ так щоб коло одночасно дотикалось до променя і АФХ;

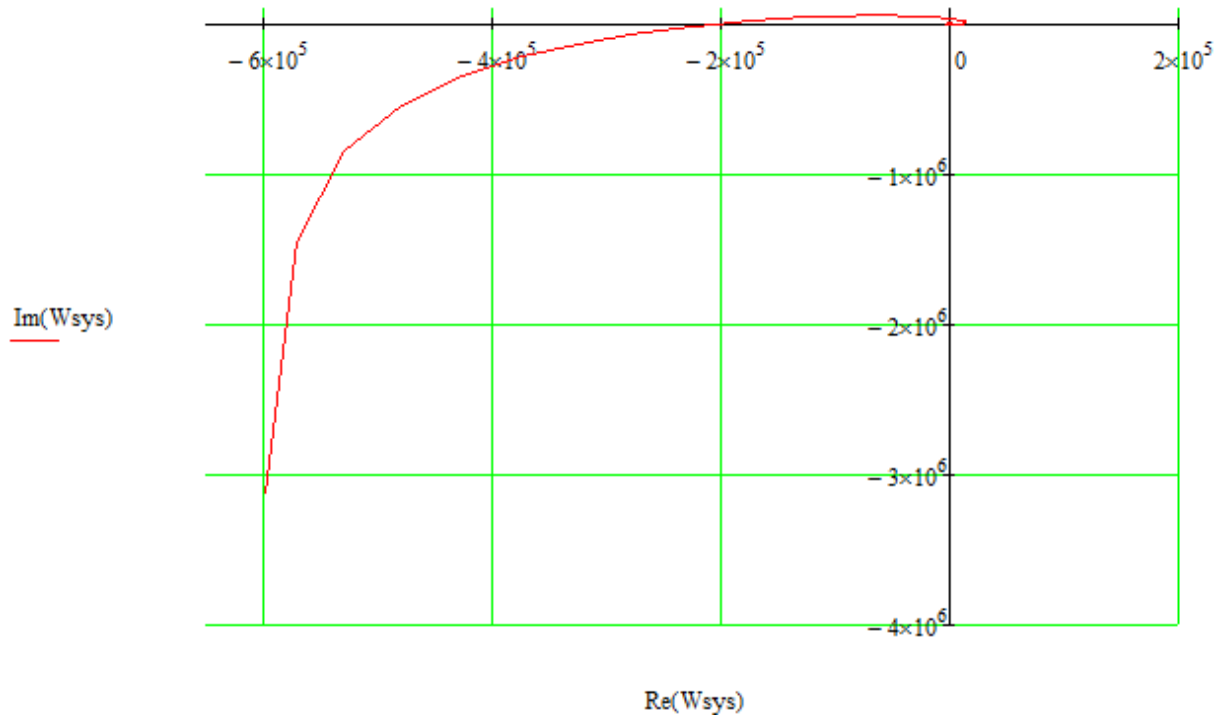


Рисунок 4.3 – АФК розімкненої системи з ПД регулятором

- 9) Задаємо функцію М-кола (4.13):

$$M = (\cos(\beta) + j \cdot \sin(\beta)) \cdot \frac{L1}{M} - L1 \quad (4.13)$$

- 10) Будуємо графік (рисунок 4.4):

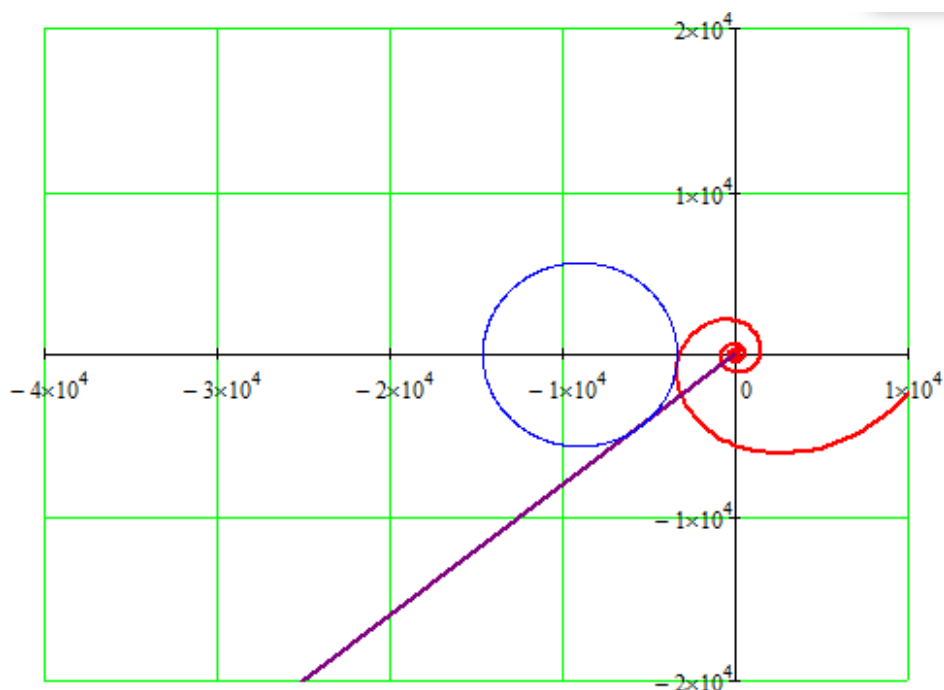


Рисунок 4.4– I-ша пара налаштувань ПД регулятора

11) Застосовуючи формулу визначаємо необхідний коефіцієнт підсилення регулятора він рівний:

$$K_p = 1.823 \times 10^{-4}$$

II-га пара налаштувань:

(Всі пункти такі самі як і в I-шій парі налаштувань, відрізняється тільки значення L та T_i та K_p , тому повторювати будемо тільки 5-11 пункти):

5) Задаємо постійне значення $K_{p1} = 1$ та задаю значення $T_i = 0,05$

6) Будуємо промінь під кутом $\beta = \arcsin \frac{1}{M}^\circ$ (рисунок 4.4);

7) Задаємо значення $M=1.6$ будуємо M -коло (рисунок 4.4)

8) Задаємо приблизне значення $L_2 = 178$ так щоб коло одночасно дотикалось до променя і АФХ;

9) Задаю функцію M -кола :

$$M = (\cos(\beta) + j \cdot \sin(\beta)) \cdot \frac{L_2}{M} - L_2 \quad (4.14)$$

10) Будуємо графік (рисунок 4.5)

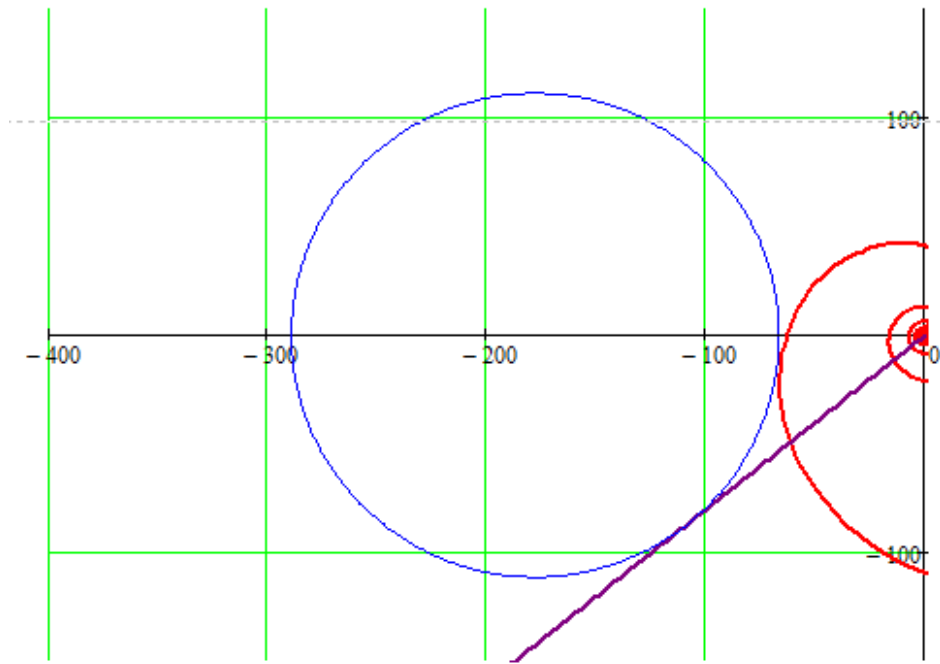


Рисунок 4.5 – II-га пара налаштувань ПД регулятора

11) Застосовуючи формулу визначаю необхідний коефіцієнт підсилення регулятора він рівний:

$$K_p = 9.219 \times 10^{-3}$$

III-я пара налаштувань:

5) Задаємо постійне значення $K_{p1} = 1$ та задаю значення $T_i = 0,01$

6) Будуємо промінь під кутом $\beta = \arcsin \frac{1}{M}^\circ$ (рисунок 4.3);

7) Задаємо значення $M=1.6$ будуємо М-коло (рисунок 4.3)

8) Задаємо приблизне значення $L_3 = 900$ так щоб коло одночасно дотикалось до променя і АФХ;

9) Задаємо функцію М-кола:

$$M = (\cos(\beta) + j \cdot \sin(\beta)) \cdot \frac{L_3}{M} - L_3 \quad (4.15)$$

10) Будуємо графік (рисунок 4.6)

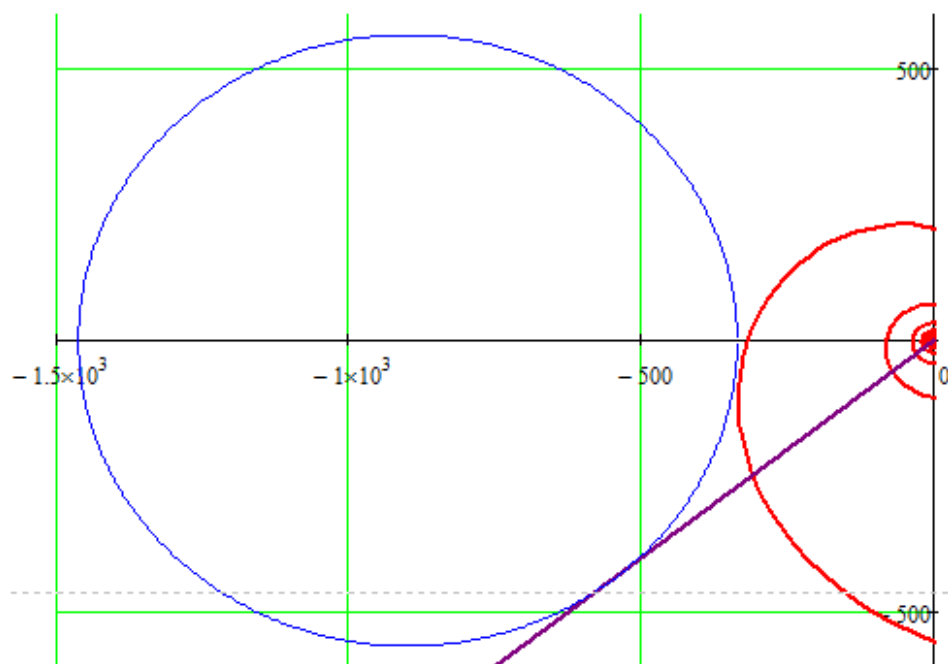


Рисунок 4.6 – III-я пара налаштувань ПД регулятора

11) Застосовуючи формулу визначаємо необхідний коефіцієнт підсилення регулятора він рівний:

$$K_p = 1.823 \times 10^{-3}$$

IV-а пара налаштувань:

5) Задаємо постійне значення $K_{p1} = 1$ та задаю значення $T_i = 0,015$

6) Будуємо промінь під кутом $\beta = \arcsin \frac{1}{M}$ (рисунок 4.4);

7) Задаємо значення $M=1.6$ будуємо М-коло (рисунок 4.4)

8) Задаємо приблизне значення $L_4 = 597$ так щоб коло одночасно дотикалось до променя і АФХ;

9) Задаємо функцію М-кола :

$$M = (\cos(\beta) + j \cdot \sin(\beta)) \cdot \frac{L_4}{M} - L_4 \quad (4.16)$$

10) Будуємо графік (рисунок 4.7):

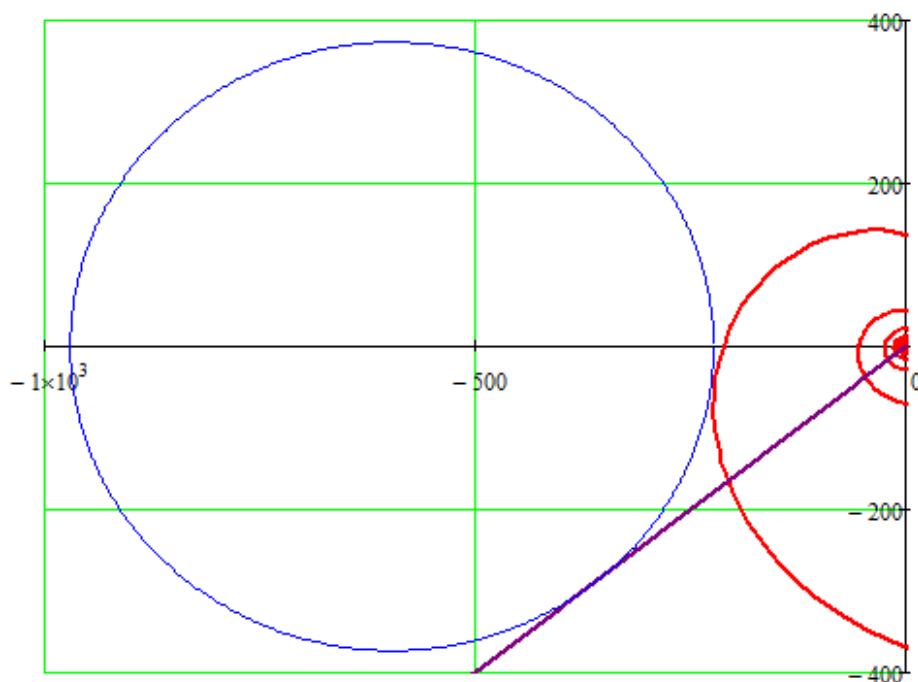


Рисунок 4.7 – IV-а пара налаштувань ПІД регулятора

11) Застосовуючи формулу визначаю необхідний коефіцієнт підсилення регулятора він рівний:

$$K_p = 2.749 \times 10^{-3}$$

Після того, як було розраховано декілька точок, потрібно побудувати графік залежності K_p/T_i , для отримання оптимальних значень налаштування ПІД регулятора. Записуємо у масив знайдені значення K_p та T_i , та будую графік залежності (рисунок 4.8).

$$K_p = \begin{pmatrix} 1.823 \times 10^{-4} \\ 9.219 \times 10^{-3} \\ 1.823 \times 10^{-3} \\ 2.749 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad T_i = \begin{pmatrix} 0.001 \\ 0.01 \\ 0.015 \\ 0.05 \end{pmatrix}$$

Як видно з (рисунок 4.8) – дотичну провести не можливо. Тому оптимальними параметрами буде максимальне відношення K_p/T_i :

$$K_p/T_i = \begin{pmatrix} 0.182 \\ 0.922 \\ 0.122 \\ 0.055 \end{pmatrix}$$

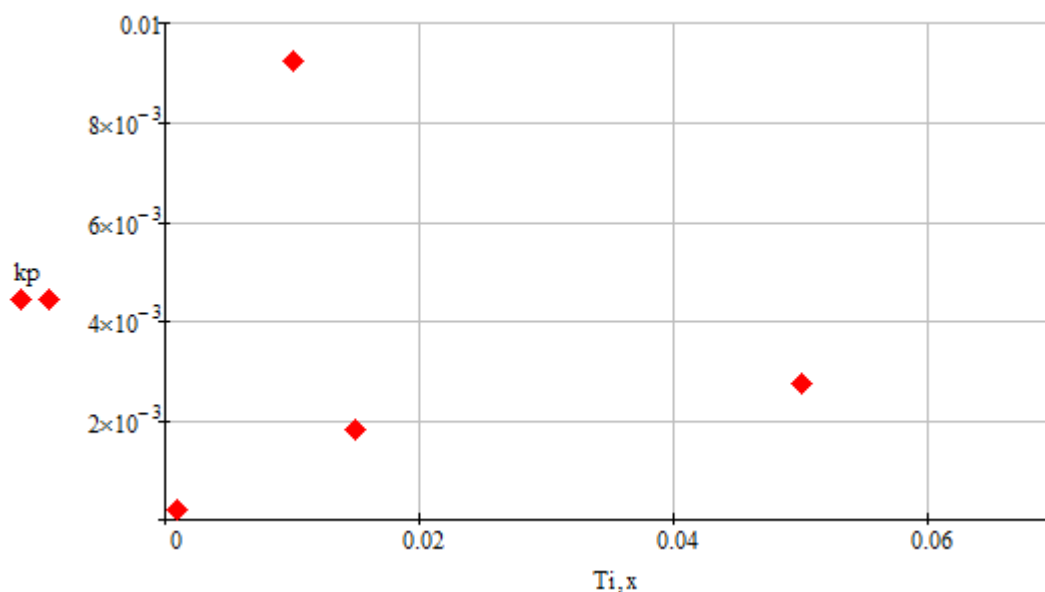


Рисунок 4.8 – Залежність Kp/Ti

Отже, можна зробити висновок. Оптимальними налаштування ПІД регулятора будуть такі значення : $Ti = 0,01$, $Kp = 9,219 \cdot 10^{-3}$, $Tr = 0,922$.

Розрахунок та побудова перехідної характеристики ПІД регулятора

1) Для початку записуємо всі відомі параметри передавальної функції та саму передавальну функції об'єкту (4.5);

2) Записуємо передавальну функцію регулятора з оптимальними налаштуваннями:

$$W_{reg_otp}(\omega) = Kp_{opt} \cdot \left(1 + \frac{1}{Ti_{opt} \cdot j \cdot \omega} + Tr_{opt} \cdot j \cdot \omega\right) \quad (4.17)$$

3) Записуємо передавальну функцію розімкненої і замкненої системи;

4) За допомогою перетворення за Лапласом, будуємо перехідну характеристику системи з ПІД регулятором (рисунок 4.8)

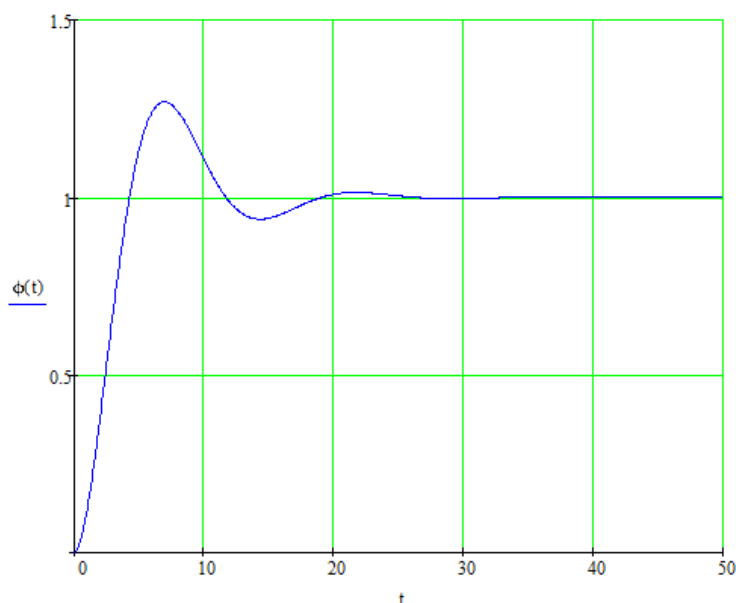


Рисунок 4.9 – Перехідна характеристика системи з ПІД регулятором

Основний розрахунок та побудова перехідної характеристика системи з ПІД регулятором за допомогою математичного пакету MathCAD наведений у додатку Г.

Отже, було визначено оптимальні налаштування ПІД-регулятора за показником коливальності системи для заданого об'єкту.

Для забезпечення показника коливальності заданої системи в замкненому стані $M=1.6$ величина коефіцієнту підсилення ПІД-регулятора для даного об'єкта: $K_p = 9,219 \cdot 10^{-3}$ при $T_i = 0,01$, $T_r = 0,005$. Також побудовані перехідні характеристики систем із регуляторами.

4.3 Розробка SCADA-системи в середовищі Trace Mode

4.3.1 Призначення та сфери застосування програмного середовища Trace Mode

TRACE MODE 6 призначений для автоматизації промислових підприємств, енергетичних об'єктів, інтелектуальних будинків, об'єктів транспорту та ін. Масштаб систем автоматизації, створюваних в TRACE MODE, може бути будь-яким – від автономних робочих керуючих контролерів і робочих місць операторів (APM), до територіально розподілених систем управління, що включають десятки

контролерів і АРМ, обмінюються даними з використанням різних комунікацій – локальна мережа, внутрішня мережа / Інтернет, послідовні шини на базі RS-232/485, виділені і комутовані телефонні лінії, радіоканал і GSM / GPRS-мережі.

Причому, завдяки наявності у складі TRACE MODE 6 компонент T-Factory.exe, з'являється можливість комплексної автоматизації управління як технологічними, так і бізнес-процесами виробництва для досягнення високої економічної ефективності та швидкого повернення інвестицій.

Принцип функціонування системи:

Створення проекту АСУ здійснюється в єдиному інтегрованому середовищі розробки (IC) TRACE MODE 6, що працює під керуванням операційної системи MS Windows. Операції по створенню компонентів проекту, їх редагування та встановлення взаємозв'язків між ними виконуються в Навігаторі проекту IC. Проект, що розроблюється, представляється у вигляді дерева компонентів. Створення дерева проекту полегшується застосуванням різних технологій автобудування.

При створенні програм, екранів, зв'язків із СУБД, документів та інших компонентів викликаються відповідні редактори. Розроблені шаблони можуть бути застосовані для повторного використання, як у поточному проекті, так і в подальших при їх збереженні в користувацькій бібліотеці компонентів [24].

4.3.2 Реалізація схеми електророзрядної установки в середовищі TraceMode

За основу було взято технологічну схему електророзрядного очищення води басейнів, в якій важливо контролювати температури очищеної води. Заміряємо температуру термопарою та технічним рідинним термометрами. Манометричним термометром знаходимо залежність температури від тиску, і градуємо цей манометричний прилад.

Реалізація у TraceMode

Завдяки вбудованим елементам TraceMode було перенесено схему у середовище TraceMode максимально точно (рисунок 4.10).

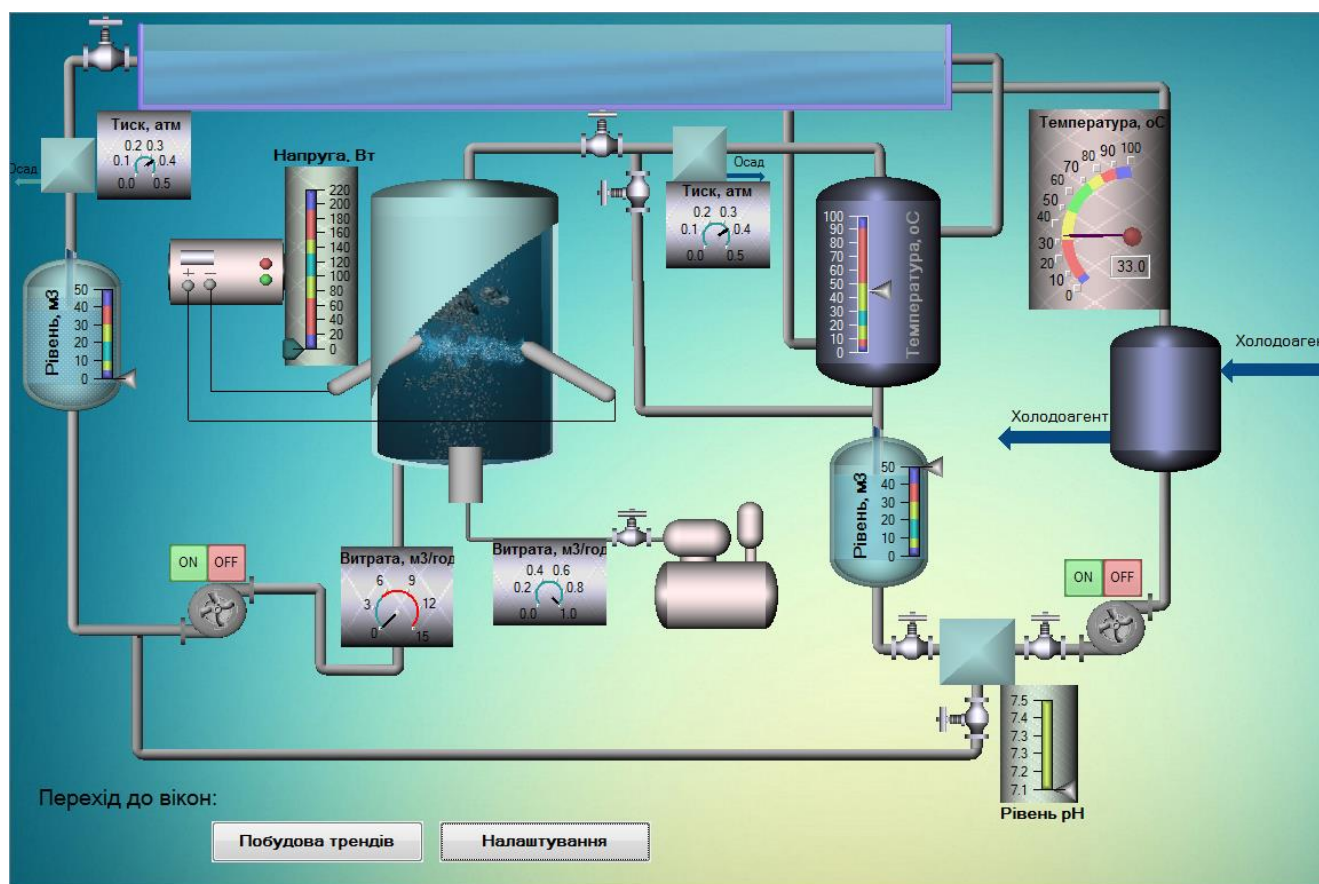


Рисунок 4.10 Схема очищення води електророзрядною технологією у TraceMode

Для цього ми використовували різні елементи, такі як:

- об'ємні фігури (рисунок 4.11);
- кнопки (рисунок 4.12);
- прилади (рисунок 4.13);
- текстові блоки та інші.

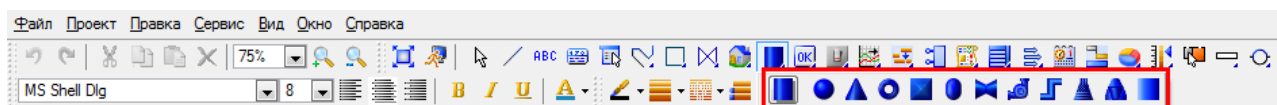


Рисунок 4.11



Рисунок 4.12

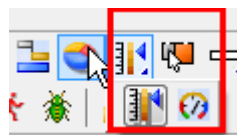
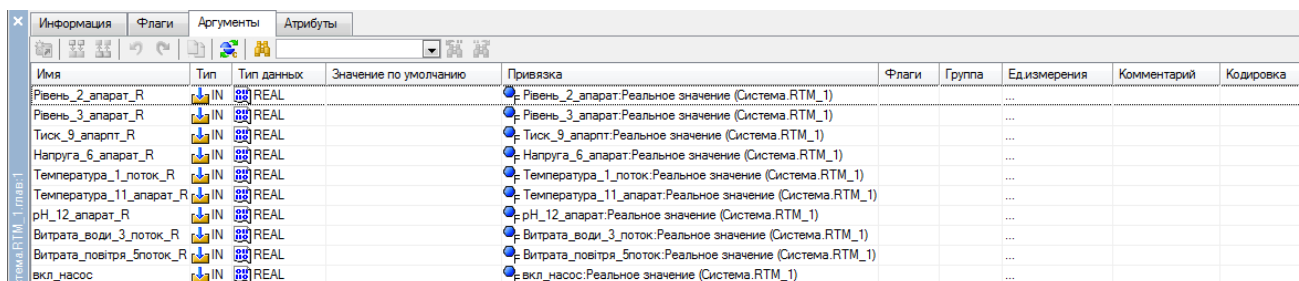


Рисунок 4.13

Потім було проведено прив'язки приладів.

Спочатку створили канали параметрів, для демонстрації роботи приладів і виконали автоматичну прив'язку цих приладів до їх каналів рисунок 4.14



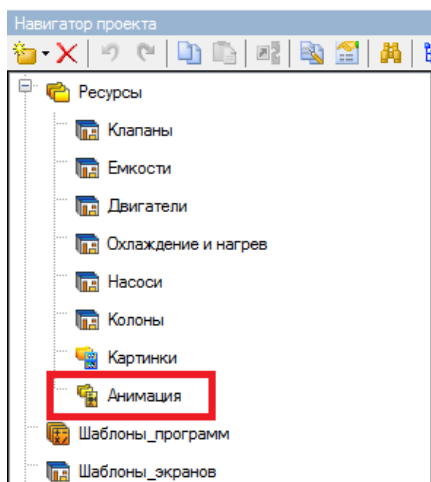
Имя	Тип	Тип данных	Значение по умолчанию	Привязка	Флаги	Группа	Единицы измерения	Комментарий	Кодировка
Рівень_2_апарат_R	IN	REAL		Рівень_2_апарат:Реальное значение (Система.RTM_1)					
Рівень_3_апарат_R	IN	REAL		Рівень_3_апарат:Реальное значение (Система.RTM_1)					
Тиск_9_апарат_R	IN	REAL		Тиск_9_апарат:Реальное значение (Система.RTM_1)					
Напруга_6_апарат_R	IN	REAL		Напруга_6_апарат:Реальное значение (Система.RTM_1)					
Температура_1_поток_R	IN	REAL		Температура_1_поток:Реальное значение (Система.RTM_1)					
Температура_11_апарат_R	IN	REAL		Температура_11_апарат:Реальное значение (Система.RTM_1)					
pH_12_апарат_R	IN	REAL		pH_12_апарат:Реальное значение (Система.RTM_1)					
Витрата_води_3_поток_R	IN	REAL		Витрата_води_3_поток:Реальное значение (Система.RTM_1)					
Витрата_повітря_5поток_R	IN	REAL		Витрата_повітря_5поток:Реальное значение (Система.RTM_1)					
вкл_насос	IN	REAL		вкл_насос:Реальное значение (Система.RTM_1)					


Рисунок 4.14 – Вікно властивостей головного екрану.

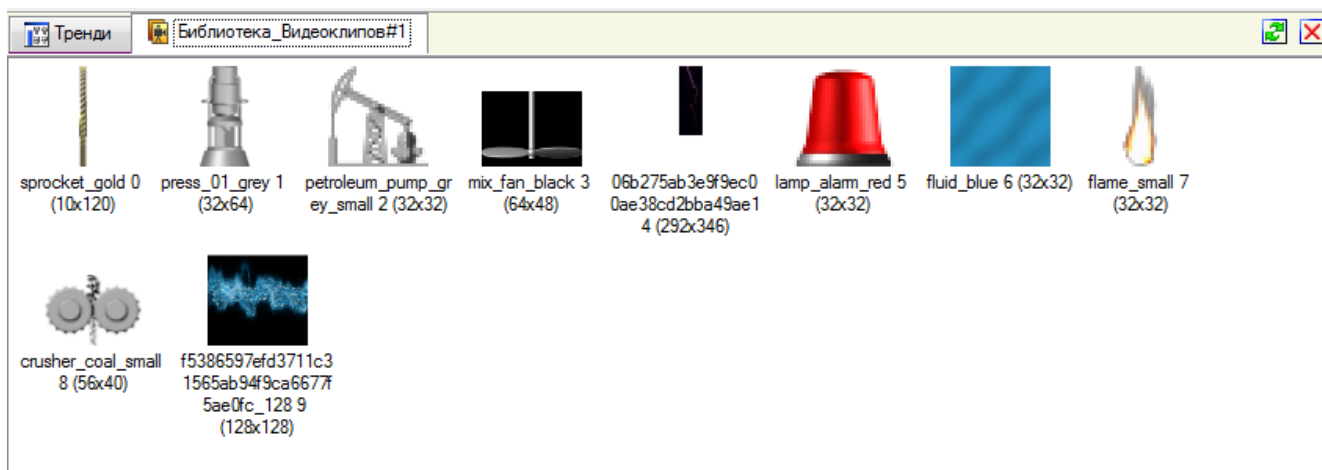
Для імітації роботи деяких приладів було додано елементи анімації.


Для цього:

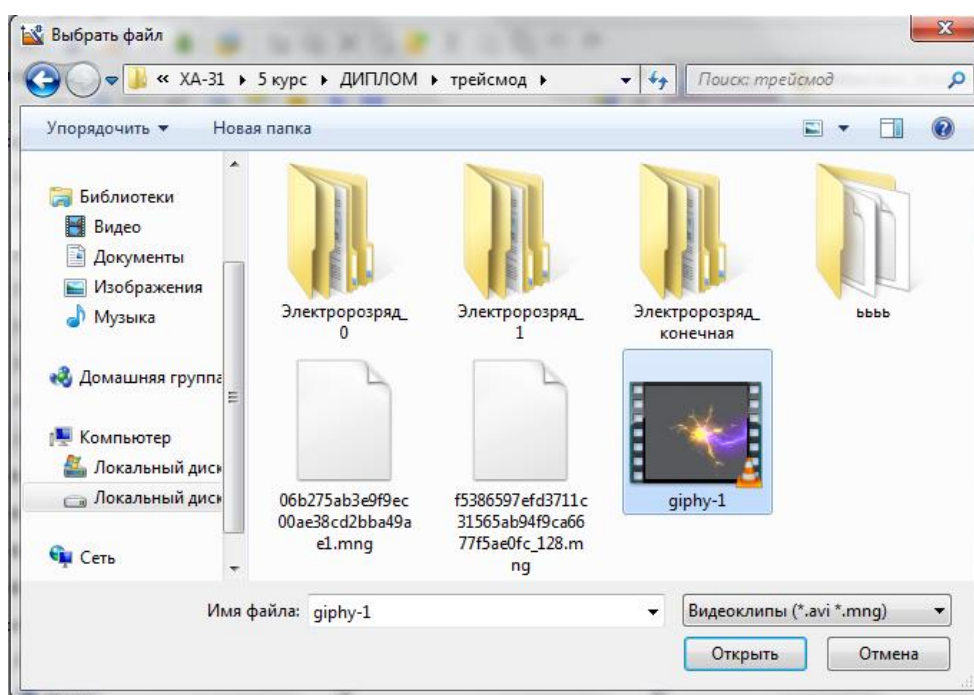
1. На панелі навігації проектом в пункті «Ресурси» знаходимо підпункт «Анімація»:





2. Обираємо «Бібліотека відеокліпів»  **Библитека Видеоклипов#1**, двічі клацнувши по іконці відкриваємо її. Після чого з'явиться вікно:

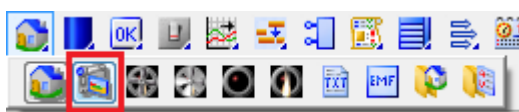


3. За допомогою кнопки  імпортуємо у програму заздалегідь знайдені та підготовані відео ролики у форматі .avi або .mng:

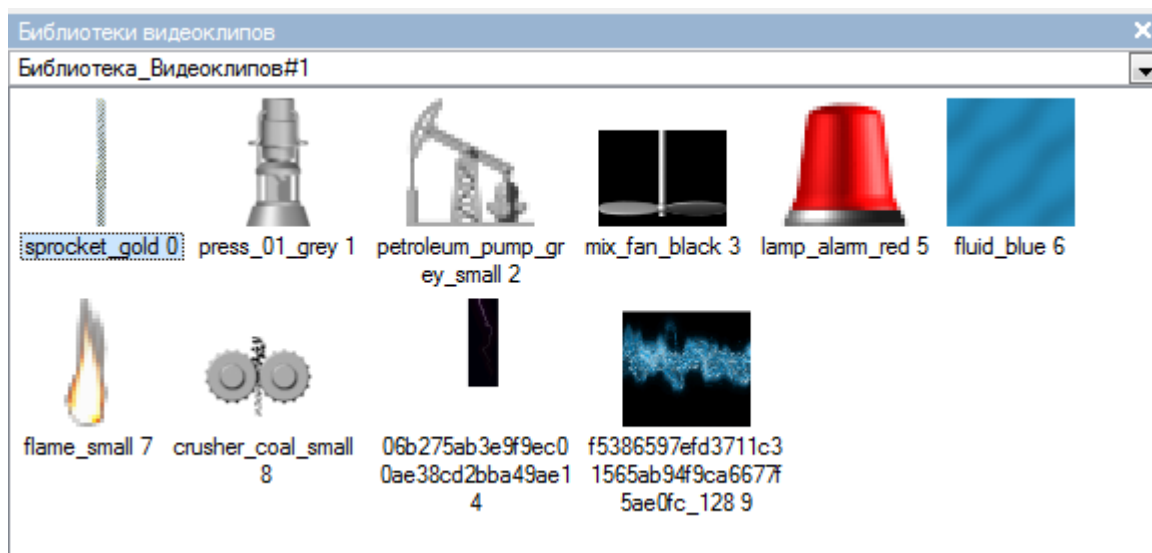


Коли всі потрібні нам відеоролики додані в бібліотеку натискаємо кнопку , щоб закрити її та переходимо до редагування екрану.

4. На панелі інструментів знаходимо кнопку  та розкриваємо список доступних ресурсів, де обираємо «Відеокліп»:



5. Після чого з правої сторони екрану відкриється «Бібліотека відеокліпів» з роликами:



6. Для використання анімації перетягуємо бажану на робочу зону екрану, де можна редагувати розмір та властивості.

Анімацію було використано для елементів установки, що зображені нижче:



імітація руху насосів;

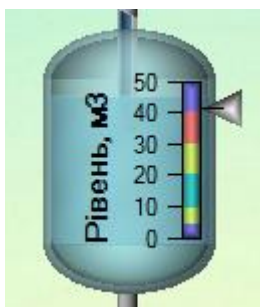


імітація дугового розряду між електродами електророзрядного модуля;



забрудненої води;

імітація руху води в ємності для



очищеної води;

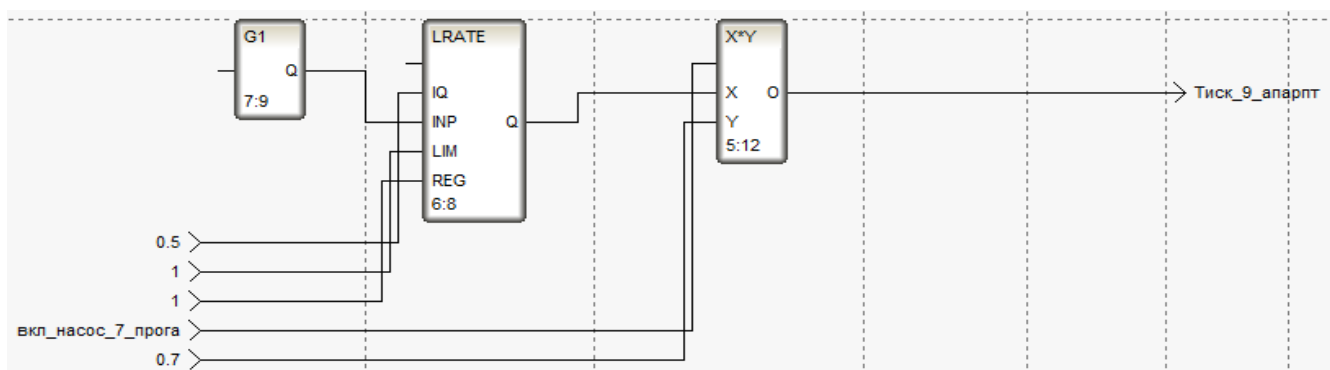
імітація руху води в ємності для

Та імітація руху води в басейні:

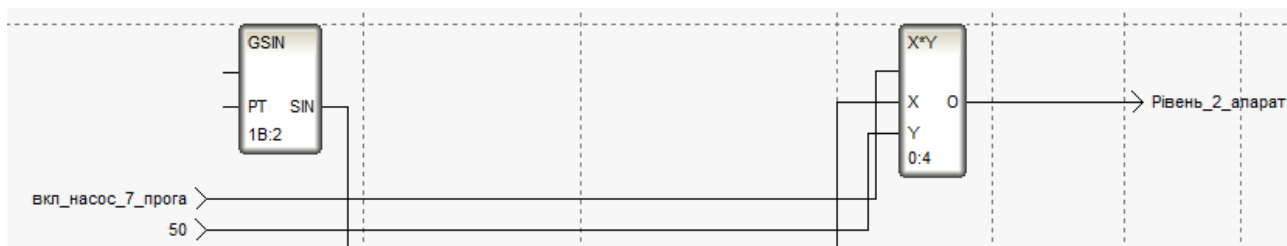


Далі створюємо програми на мові функціональних блоків FBD:

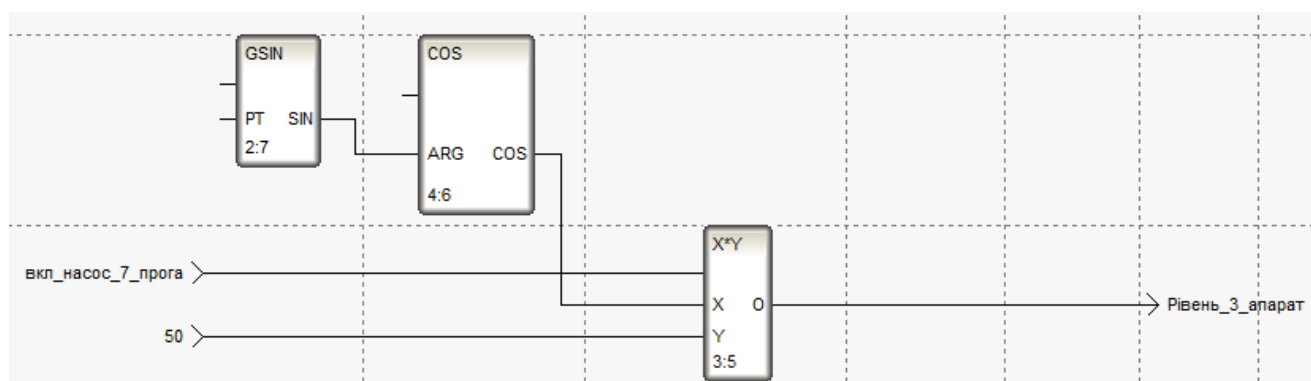
1. Програма для генерації значення тиску у фільтрах.



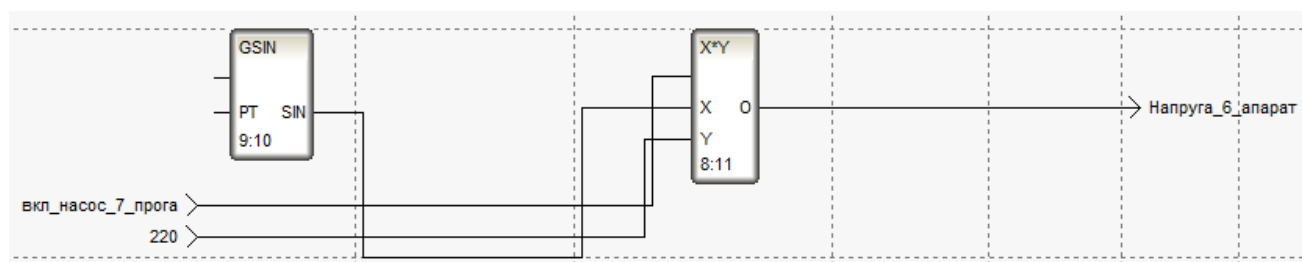
2. Програма генерації значення рівня в ємності для забрудненої води:



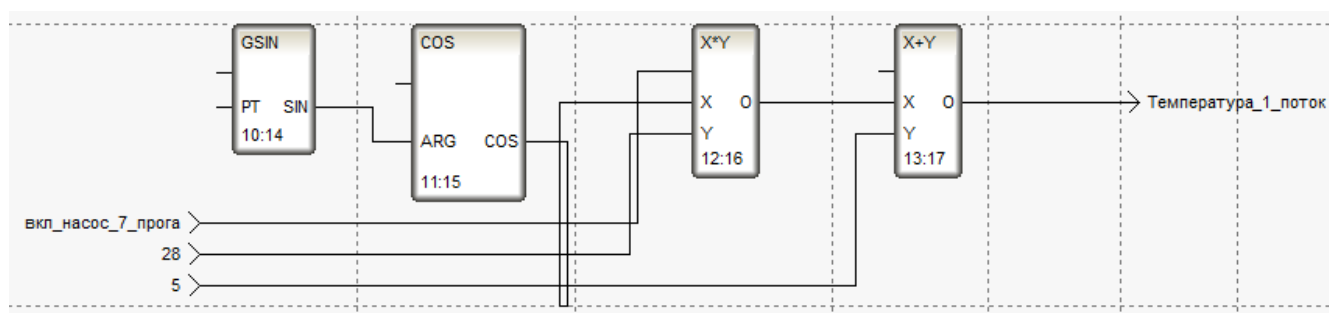
3. Програма для генерації значення рівня в ємності для очищеної води:



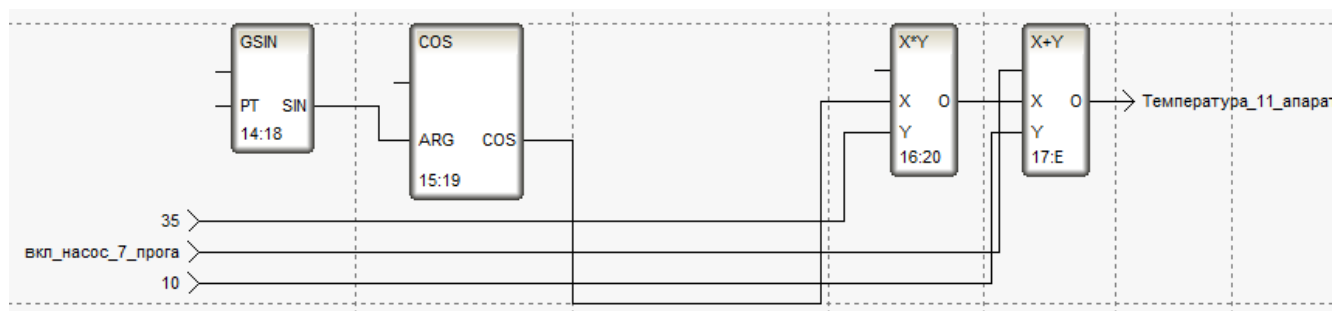
4. Програма для генерації значення напруги в інжекторному джерелі живлення:



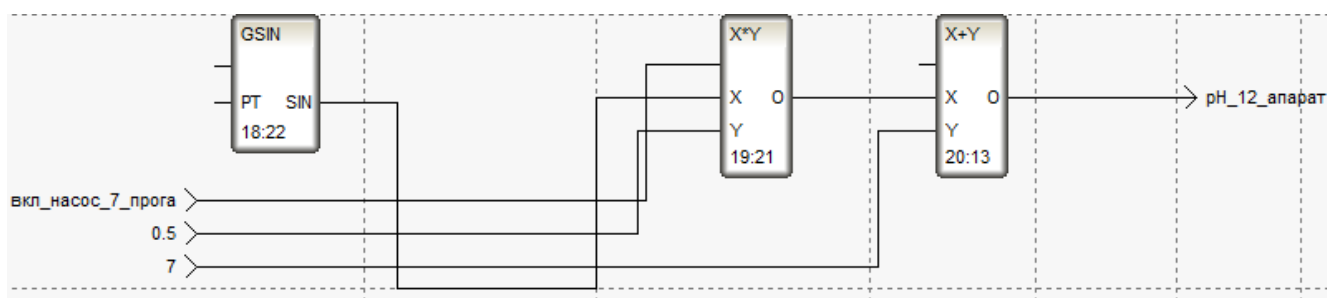
5. Програма для генерації значення температури очищеної води для повернення в басейн:



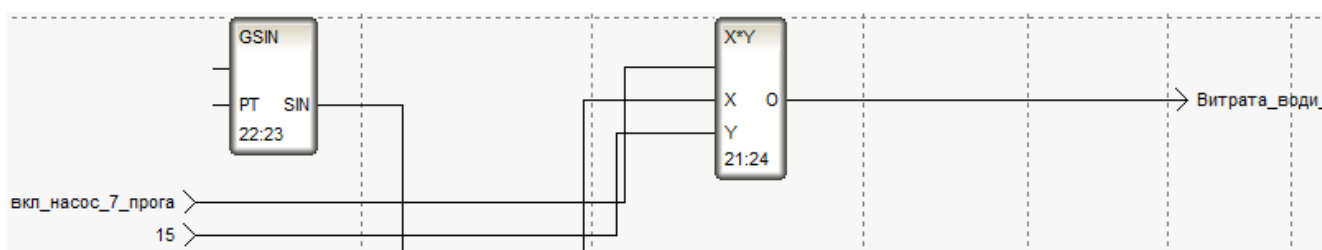
6. Програма для генерації значення температури очищеної води в першому теплообміннику:



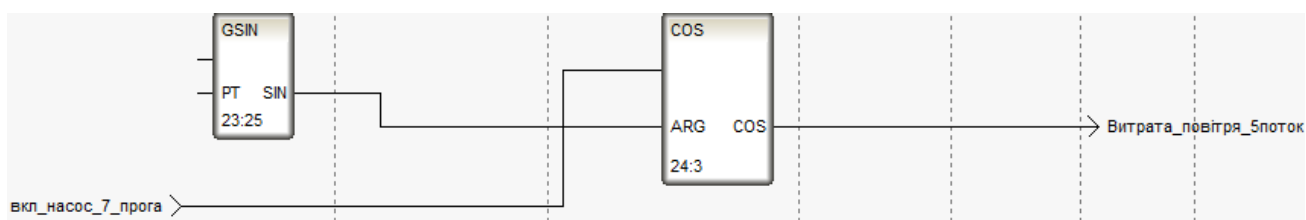
7. Програма для генерації значення рівню рН:



8. Програма для генерації значення витрати води для подачі в електророзрядний модуль:




9. Програма для генерації значення температури очищеної води в першому теплообміннику:



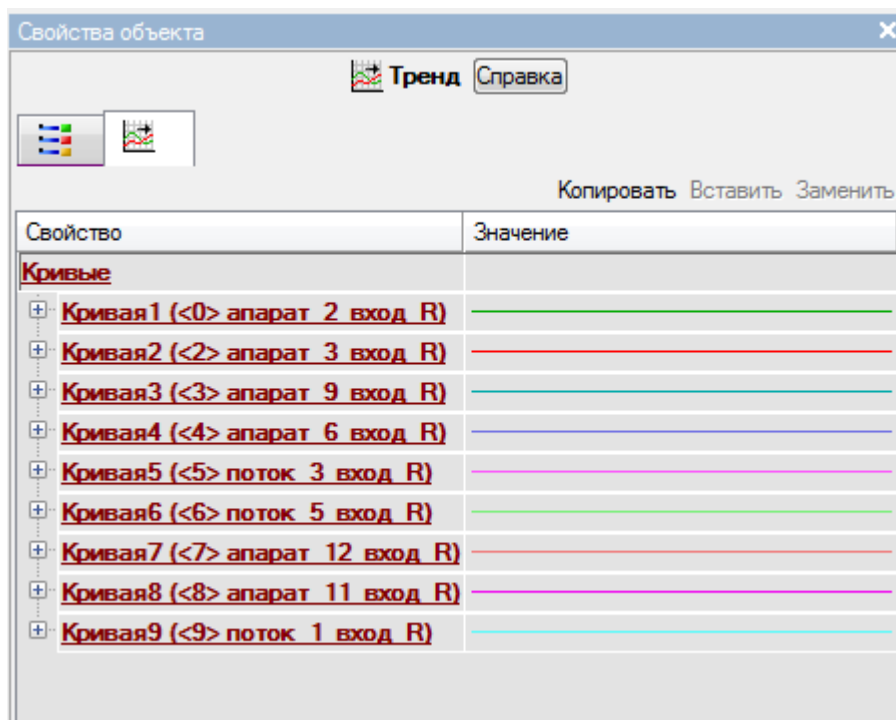
Наступним кроком було налаштування шкал приладів під дані програми, використовуючи доступні нам налаштування елементів.

Налаштування графічної залежності

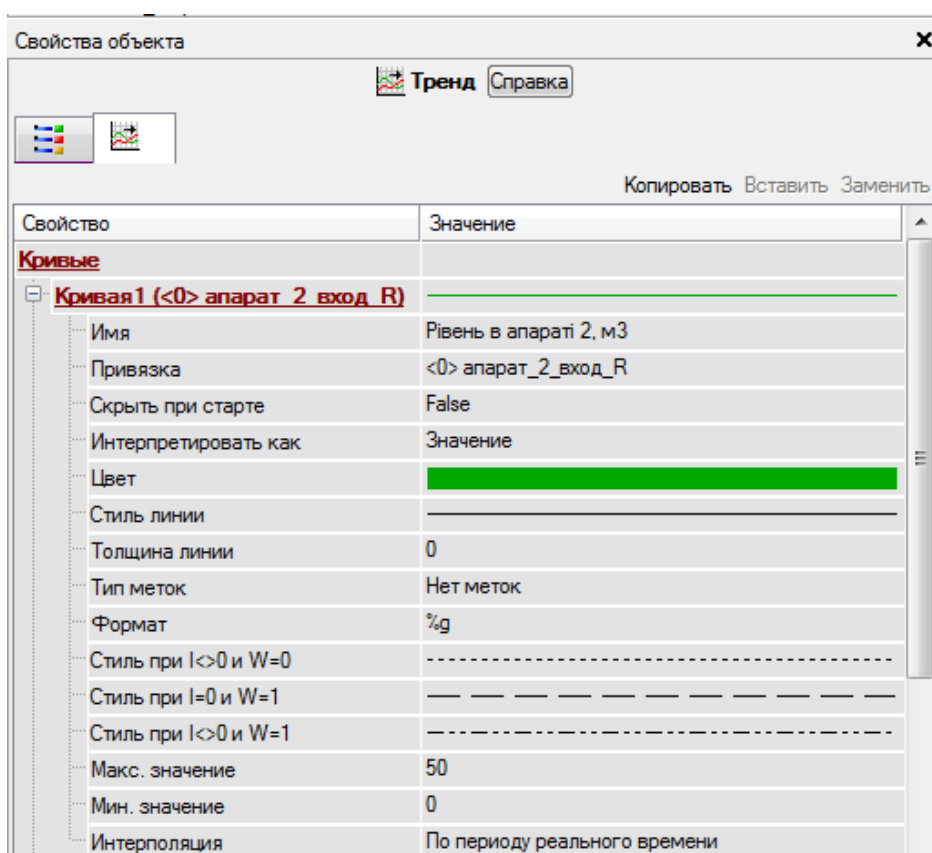
1. Для зміни параметрів графічних кривих (трендів) необхідно скористатися кнопкою  на панелі інструментів:




в вікнах, де відображуються графічні залежності. При цьому відкриється вікно, в якому показані назви і колір кривих даного вікна побудови:

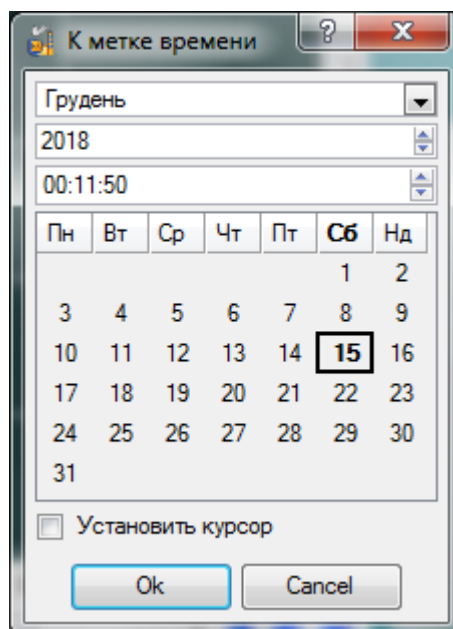


Для відображення параметрів кривої необхідно розкрити деревоподібна меню натиснувши на «+» ліворуч від її назви:



Зміна параметрів кривих здійснюється при натисканні на значення параметра і подальшим вибором / введенням необхідного значення параметра.







2. Для відображення графічних залежностей за певний період часу необхідно скористатися тимчасовими мітками, для чого необхідно натиснути на кнопку  на панелі інструментів у вікні, де відображуються графічні залежності. При цьому відкриється наступне вікно:



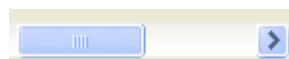
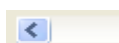
в ньому можна вказати дату / час, для яких необхідно переглянути графічні залежності. Навігацію по графічним залежностям можна здійснювати за допомогою наступних кнопок навігації:



Властивості кнопок навігації:


-  - повернення графічного зображення на годину назад
-  - повернення графічного зображення на день назад
-  - повернення до початку графічних побудов
-  - перекидання графічного зображення на годину вперед
-  - перекидання графічного зображення на день вперед
-  - перекидання до кінця графічних побудов

За допомогою повзунка прокрутки:



можна пересувати видиму область побудови графіків від початку побудови до поточного часу.

Кнопка  призначена для показу і скасування показу легенди.

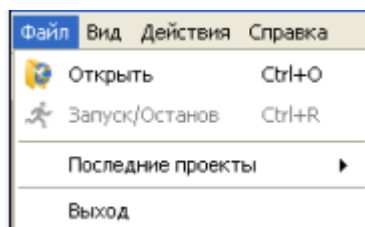
Кнопка  призначена для виведення і скасування рішення панелі інструментів на екран в графічній області побудови.

4.3.3 Інструкція користувача для роботи зі SCADA-системою контролю та регулювання електророзрядною установкою

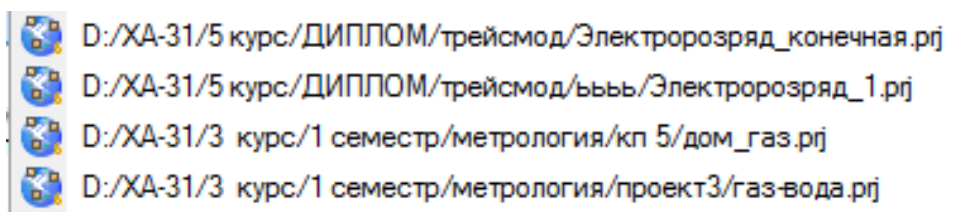
1. Запустити програму TRACE MODE 6 RTM, клацнувши два рази мишею по

ярлику програми  на робочому столі.


2. Після завантаження програми TRACE MODE 6 RTM слід запустити необхідний проект SCADA-системи. Для чого в меню «Файл» вибрати команду «Останні проекти»



3. У списку проектів вибрати необхідний



Вибір проекту підтвердити клацанням миші.

4. Для запуску проекту натиснути кнопку на панелі інструментів  або використати відповідну команду в меню «Файл»

На екрані монітора з'явиться вікно проекту:

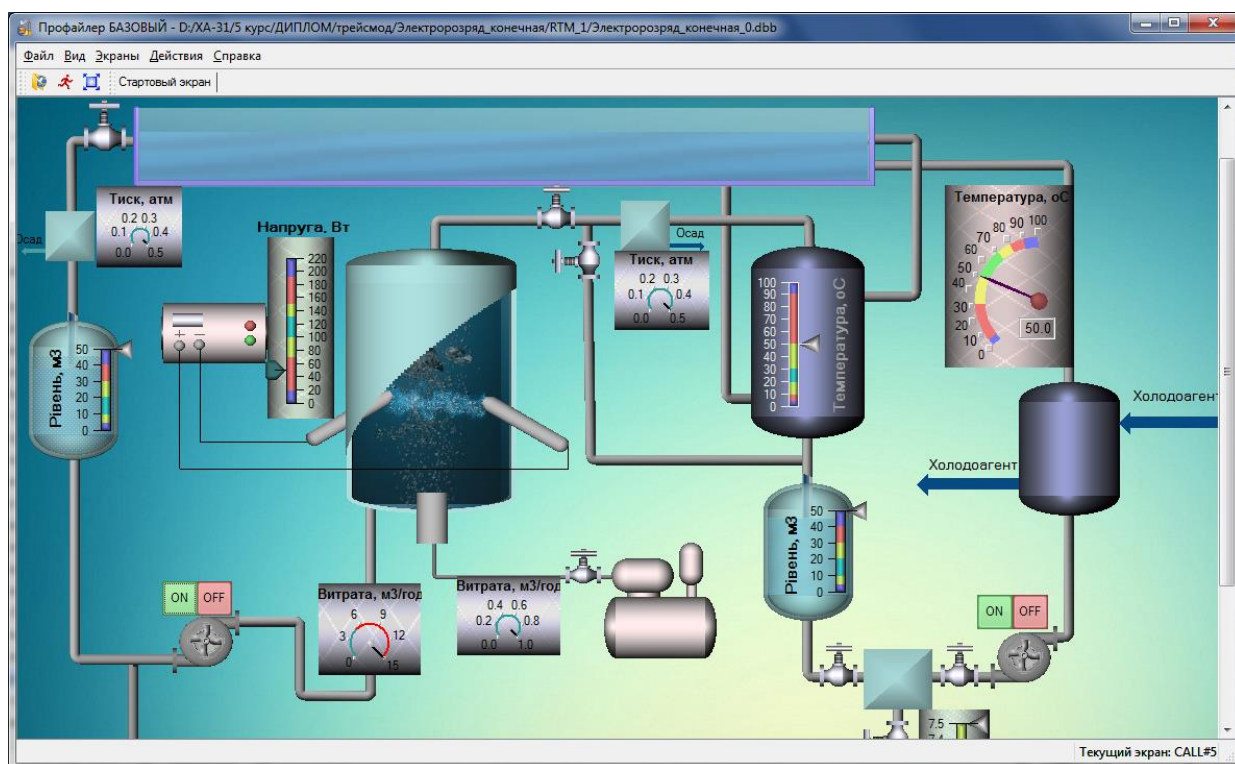



Рисунок 4.11 – Вікно профайлера з готовою до запуску установкою.

5. Для переходу в повноекранний режим слід скористатися кнопкою  а бо відповідною командою в меню «Вид». У повноекранному режимі екран буде виглядати наступним чином:

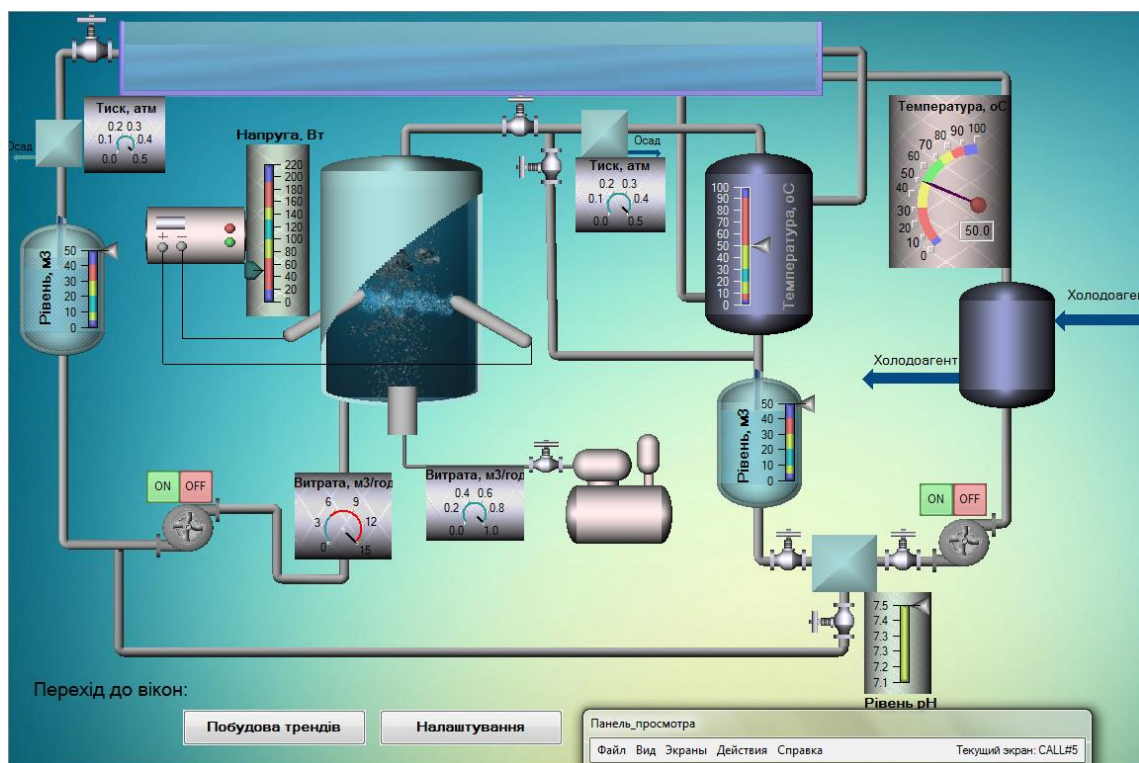
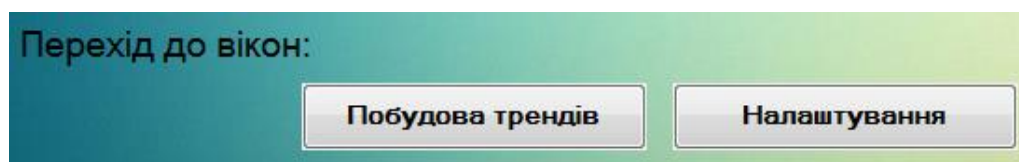


Рисунок 4.12 – Вигляд проекту в повноекранному режимі.

При цьому панель інструментів буде відсутній, а лінійку меню можна переміщати за допомогою миші і ставити в будь-яке місце екрану.

6. Для переходу до допоміжних вікон графічного відображення поточних параметрів процесу слід скористатися наступними кнопками:



7. Кнопка **Побудова трендів** дозволяє перейти до вікна, де графічно відображують, як поточні зміни параметрів роботи установки, як і переглянути архівні дані:

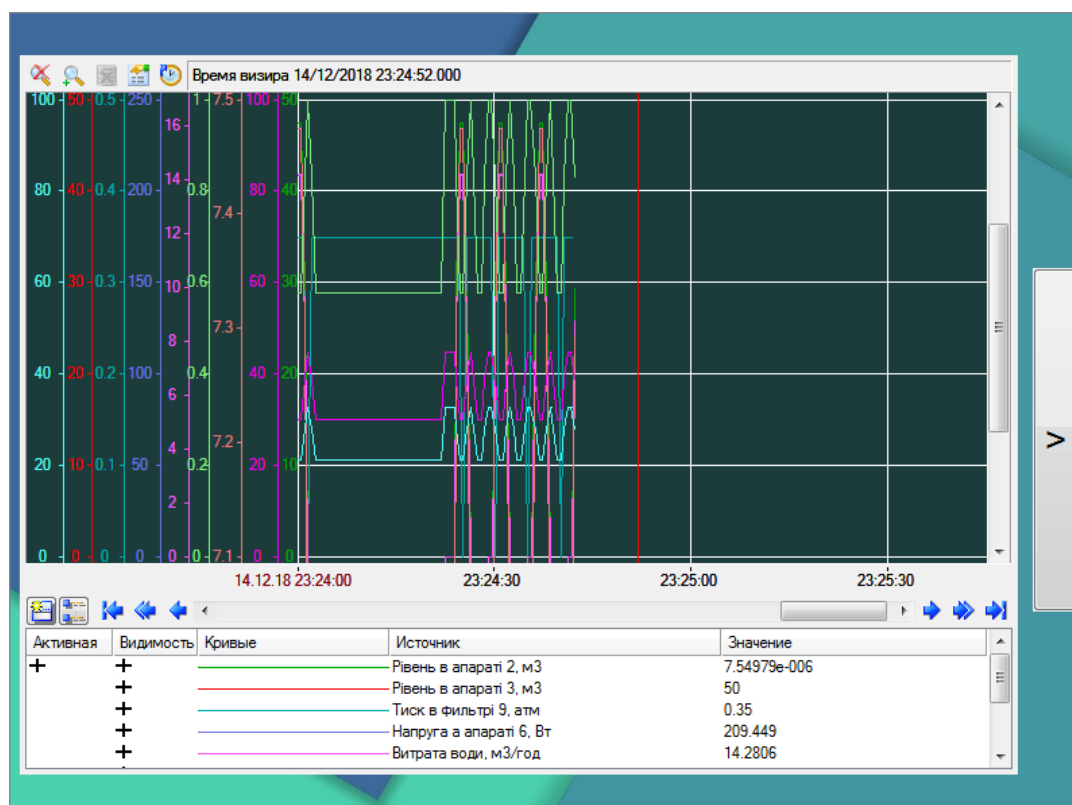


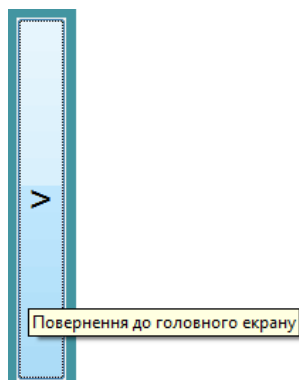


Рисунок 4.13 – Вікно візуалізації зміни параметрів у реальному часі.

Криві, необхідні для побудови слід зазначити символом «+».

Активная	Видимость	Кривые	Источник	Значение
+	+		Рівень в апараті 2, м3	29.3893
	+		Рівень в апараті 3, м3	41.6085
	+		Тиск в фільтрі 9, атм	0.35
	+		Напруга в апараті 6, Вт	129.313
	+		Витрата води, м3/год	8.81678

Для переходу в головне вікно з цього допоміжного вікна слід скористатися кнопкою:

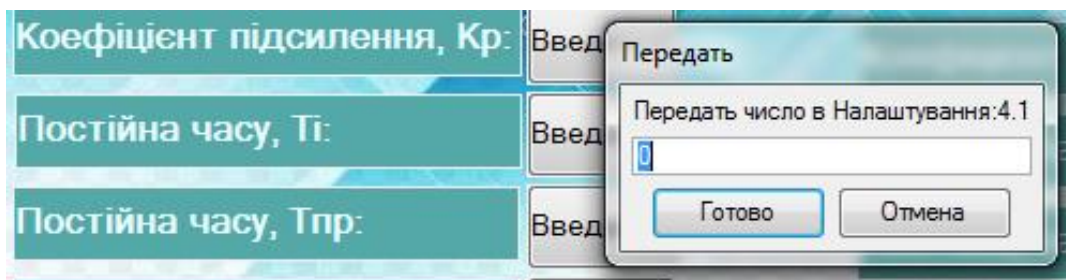


8. При необхідності уточнити налаштування ПІД-регулятора слід скористатися кнопкою **Налаштування** і вказати необхідні настройки у вікні:

Регулятор №1:		Регулятор №3:	
Коефіцієнт підсилення, Кр:	Введення	Коефіцієнт підсилення, Кр:	Введення
Постійна часу, Ті:	Введення	Постійна часу, Ті:	Введення
Постійна часу, Тпр:	Введення	Постійна часу, Тпр:	Введення
Зона нечутливості:	Введення	Зона нечутливості:	Введення
Сигнал неузгодження:	Введення	Сигнал неузгодження:	Введення
Регулятор №2:		Регулятор №4:	
Коефіцієнт підсилення, Кр:	Введення	Коефіцієнт підсилення, Кр:	Введення
Постійна часу, Ті:	Введення	Постійна часу, Ті:	Введення
Постійна часу, Тпр:	Введення	Постійна часу, Тпр:	Введення
Зона нечутливості:	Введення	Зона нечутливості:	Введення
Сигнал неузгодження:	Введення	Сигнал неузгодження:	Введення



Рисунок 4.14 – Вікно налаштувань ПІД-регуляторів.

При натисканні кнопка **Введення** з'являється віконце введення параметрів:



9. Для переходу в головне вікно з цього допоміжного вікна слід скористатися кнопкою:



10. Для завершення роботи з програмою TRACE MODE 6 RTM необхідно зупинити проект натисканням кнопки  на панелі інструментів або скористатися відповідним пунктом в меню «Файл». Потім закрити програму натисканням на  в правому верхньому куті вікна або виконати команду «Файл» → «Вихід».

5. Розроблення стартап проекту

5.1 Резюме: конкретизація бізнес-ідеї, мети стартапу, об'єкту дослідження, місця розробки у інноваційному ланцюжку цінності

Бізнес-ідея: застосування електророзрядної технології для знезараження води у басейнах різних типів та розмірів.

Метою стартапу є впровадження електророзрядної технології у процес очищення басейнів від органічних забруднень та патогенних бактерій.

Тема: Знезараження басейнів електророзрядними технологіями

Назва: плазмове очищення басейнів різних типів та розмірів.

Суб'єкт замовлення: власники оздоровчих, спортивних та індивідуальних басейнів.

Об'єкт дослідження: метод знезараження води на основі властивостей електричних розрядів, можливість його застосування на басейнах різних типів, економічна доцільність застосування електророзрядних технологій, розробка автоматичного контролю якості очищення води.

Місце розробки у інноваційному ланцюжку цінностей: B2C модель. Оскільки виробництво спрямовано на кінцевий продукт, а отже для роботи зі кінцевими споживачами.

Таблиця 5.1 Плановий обсяг продукції по місяцям на перший рік

	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Запланований обсяг, шт	40	60	80	120	150	140	120	110	110	100	80	30

Продукт – плазмовий очисник.

Технологія нестандартна тим, що для знезараження води використовується дуговий розряд. Модуль складається з розрядної камери, яка виготовляється безпосередньо на підприємстві. Потім, відповідно до схеми, додають інші елементи очисника, такі як: джерела живлення, резисторні матриці і ежекторний вузол.

Плазма утворюється в розрядній камері при дуговому електричному розряді на повітрі (в кисні) в присутності насичених парів води.

Джерела сировини. Для виготовлення плазмового очисника використовуються наступні компоненти: джерело живлення FUG Elektronik GmbH (Німеччина), резисторні матриці (Польща), ежекторний вузол (Україна), електроди (Німеччина).

Кваліфікація персоналу. Розробники та технологи мають вищу освіту за напрямом «хімічна технологія». Спеціаліст з автоматизації має вищу освіту технічного спрямування. Робітники мають повну вищу освіту. Бухгалтер має вищу освіту економічного напрямку.

Споживачами є власники оздоровчих, спортивних та індивідуальних басейнів.

Ринок збуту. В даний час розширюється мережа оздоровчих і спортивних басейнів різних типів і розмірів. Зараз в кожному місті є, хоча б, 1 басейн, а той і більше. Їх призначення – зміцнення здоров'я населення, тому повинні бути виключені чинники негативного впливу на організм людини. Тому дані фільтри будуть користуватися попитом. Таким чином потенційний ринок складатиме до 400 тис. штук на рік. І це лише в Україні.

Конкурентні переваги. Однією з основних тенденцій розвитку сучасної техніки і технології є розробка і широке використання принципово нових технологічних і створення нових матеріалів зі специфічними властивостями. Подібні завдання привели до виникнення нового напрямку фізичної хімії та хімічної технології – дослідження хімічних процесів в електророзрядній плазмі. Плазмохімічні процеси особливо перспективні для промислової реалізації тих хімічних процесів, у яких рівновага зміщена в бік високих температур або швидкість протікання яких різко зростає з підвищенням температури. Значні перспективи є в області отримання чистих і високочистих матеріалів, а також в обширних областях водоочистки і водопідготовки. Електророзрядна плазма може бути використана для проведення хімічних реакцій в якості джерела концентрованої питомої енергії, джерела позитивних і негативних іонів, здатних вести іонні і іонно-молекулярні реакції, джерела УФ-випромінювання для фотохімічних реакцій.

Електророзрядна плазма може генеруватися в плазмохімічних реакторах при підведенні постійного і змінного струму з ККД до 95%.

При використанні методу в процесі водоочищення в загальному випадку процес може бути розділений на три основні стадії:

- утворення активних частинок ОН-радикалів, атомарного кисню і озону в газовій фазі;
- транспортування активних частинок до цільових забруднень, розчинених у воді;
- окислювально-відновні реакції активних частинок з забруднювачами.

Підвищення абсорбції активних частинок в зоні розряду можливо шляхом створення турбулентності.

Вибір напрямку проведення досліджень щодо впровадження технології електророзрядної плазми в водоочистку і водопідготовку залежить від ефективності різних типів організації розряду. Одним з перспективних напрямків є дослідження перехідних типів організації розряду плазми від іскрового до бар'єрного, а також використання високовольтних джерел живлення з різними характеристиками сигналу, що подається.

Вартість розробки. На витратні матеріали буде витрачено близько 20 тис. грн, на роботу розробників – 15 тис. грн. Таким вартість розробки складатиме 35 тис. грн.

Ринкова ціна складатиме близько 190 тис. грн/шт.

Період повернення капіталовкладень – 1,7 роки.

5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу

Таблиця 5.2 Загрози і можливості зовнішнього середовища

Фактор	Загрози	Можливості
Економіка		
Нестабільність доходів	На початковому етапі, поки підприємство не набуло поширення, прибуток може бути не стабільним, що може призвести до затримки заробітних плат.	Для усунення фінансових проблем ми залучили інвесторів. По контракту, на початковому етапі, вони забезпечують нам підтримку. Тому нестабільність буде усунена.
Економічна криза	Після політичних подій, які мали місце в історії України кілька років тому, які спричинили економічну кризу, різку девальвацію гривні та невизначеність економічної ситуації в країні, розвивати підприємство стає досить складно.	Об'єктивно оцінюючи даний фактор, ми і залучили інвесторів з іншої країни. Підписаний контракт з китайцями дає можливість спокійно чекати покращень у нашій країні.
Політика		
Нормативні вимоги до очистки води	Не можна виключати можливість змін в законодавстві. З часом вимоги до очистки води можуть бути змінено.	Ми ведемо чітке слідування нормам технології, і готові звітувати перед будь-яким органом. Технологи постійно працюють над модернізацію, тому внесення корективів, відповідно до нових норм, не займе багато часу і ми не понесемо збитків.
Державні реформи	Бізнесу часто обіцяють сприяння та допомогу від держави. Та насправді при прийнятті політичних рішень потреби українських підприємців часто ігноруються.	Щоб пом'якшити збитки та запобігти банкрутства було створено фонду розвитку виробництва. Так у нас буде резервний запас коштів за рахунок яких ми будемо вирішувати проблему.

Продовження таблиці 5.2

Науково-технічний прогрес		
Поява нових технологій	Наука не стоїть на місці, кожного дня розробляють нові технології. Є можливість появи більш ефективного методу.	До того часу, як у нас з'явиться вагомий конкурент, ми вже досить міцно закріпимося на ринку та набудемо базу постійних клієнтів. Також технологи слідкують за новинками.
Демографія		
Потенційна клієнтська база	З кожним роком люди все більше надають перевагу проживанню в квартирах, таким чином з кожним роком власників земельних ділянок ставатиме менше, а отже попит на нашу продукцію може знизитись.	Життя у великому місті, спонукають до побудови нових басейнів, що збільшуватиме попит на нашу технологію очистки. Таким чином, розгалуженість застосування продукції дозволить приносити прибуток за будь яких умов. Також не варто забувати, про вже набуту аудиторію споживачів.

Таблиця 5.3 Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища

Фактор	Переваги	Недоліки
Постачальники		
Вузьке коло постачальників	Аналіз ринку показує, що є альтернативні варіанти придбання комплектуючих. У разі виникнення проблем з постачальниками ми зможемо знайти заміну.	Надто вузьке коло постачальників, що може в ряді випадків утворювати небажану залежність бізнесу.
Конкуренти		
Конкурентна спроможність на ринку	Електророзрядна технологія вважається універсальною. Її можна використовувати для очищення води від будь – яких забруднень. Після плазмової очистки водо набуває пролонгованої мікробної стійкості, завдяки чому вода довше залишається чистою.	Надання переваги традиційним методам. Якщо забруднення складне, то потрібно ставити додаткові модулі, а це додаткові витрати.

Продовження таблиці 5.3

Клієнти		
Консервативність клієнтів	Ефективність нашого методу дозволить показати те, що басейни можуть бути чистими на протязі довгого часу. Розпочавши, ми зможемо продемонструвати, що нашу продукцію не тільки можна, але й потрібно використовувати.	Не довіра споживачів до нових технологій. Надання переваги традиційним методам.

Таблиця 5.4 Переваги і недоліки внутрішнього середовища

Фактор	Переваги	Недоліки
Необхідність придбання нового обладнання	Завдяки контролю якості очистки та пролонгованій мікробній стійкості води, яку вона отримує завдяки обробці плазмою, клієнт відчує перевагу нашого методу. Це зменшить витрати на поточний контроль якості та повторне очищення.	Для ефективного знезараження басейнів споживачам доведеться встановлювати додаткову насосну систему, для кращої перекачки води. Це потягне за собою додаткові витрати.
Високий рівень автоматизації. Виробництво складається з декількох етапів, кожен з яких автоматизовано	Точне та швидке моделювання приладів, їх налаштування і програмування. Як наслідок – висока продуктивність виготовлення, що дозволяє уникнути простою обладнання.	Високі капіталовкладення на початковому етапі. Необхідно тримати в штаті спеціаліста з автоматизації.
Для кожного замовника необхідно окремо підбирати додаткове обладнання. В залежності від об'єму басейну.	Ми забезпечуємо високу якість та ефективність продукції для кожного замовника.	У випадку, якщо додаткове обладнання (насоси, труби та інше) підібрано не точно, то ефективність може знизитись, або навпаки, можна зашкодити роботі басейну.

Продовження таблиці 5.4

Технологи поєднують обов'язки інженерів, технологів та розробників	Технологи з легкістю можуть замінити один одного у випадку хвороби, відпустки або відрядження.	У технологів недостатньо часу на розробку та модернізацію технології.
Робота з електророзрядними технологіями	Електророзрядні технології основа нашого методу знезараження. Вони надають можливість високоефективного очищення води від легкої органіки, мікроорганізмів та патогенних бактерій..	Необхідність введення додаткових заходів з охорони праці, таких як індивідуальні засоби захисту робітників, додаткові заходи з пожежобезпеки. Робітникам необхідно проходити оцінку кваліфікації, задля уникнення надзвичайних ситуацій.
Висока вартість обладнання	Якісне обладнання, підвищує якість продукту, що позитивно впливає на «авторитет» підприємства.	Високі капіталовкладення на початковому етапі та уразі ремонтних робіт.

5.3 Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда.

На підставі аналізу факторів зовнішнього і зовнішнього оперативного середовищ було визначено ключові фактори успіху електророзрядної технології. Під ключовими факторами успіху розглянемо ті, на які підприємство може самостійно впливати під час виробництва і реалізації продукту. Ключові фактори успіху надано у вигляді діаграми Шонфільда.

Таблиця 5.5 Оцінки характеристики за методом Шонфільда

Характеристика	Коефіцієнт вагомості	Оцінка характеристик		
		Наша продукція	Конкурент А (поширений)	Конкурент Б (універсальний)
Ефективність	5	4	3	5
Необхідність в повторному очищенні	3	4	5	3
Шкода водному середовищу	2	4	3	2
Трудомісткість	2	4	5	2
Ціна	5	4	3	5
Затрати на додаткове обладнання	3	4	5	3
Швидкість очистки	3	4	5	3
Потреба в обслуговуючому персоналі	2	4	5	2
Витрата на одиницю об'єму	3	5	4	3

З урахуванням коефіцієнту вагомості характеристики визначається бальна оцінка кожної характеристики для нашої продукції і для конкурентів, яку приведено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 Оцінки характеристики з урахуванням коефіцієнту вагомості

Характеристика	Бальна оцінка характеристик		
	Наша продукція	Конкурент А	Конкурент Б
Ефективність	5	4	3
Необхідність в повторному очищенні	1,5	2	2,5
Шкода водному середовищу	2,4	4,8	3,6
Трудомісткість	2	4	5
Ціна	5	4	3
Затрати на додаткове обладнання	2,4	3,2	4
Швидкість очистки	2,4	3,2	4
Потреба в обслуговуючому персоналі	1,4	2,8	3,5
Витрата на одиницю об'єму	3,6	6	4,8

На підставі отриманих бальних оцінок будується графік порівняння конкурентних переваг нашого підприємства з конкурентами.

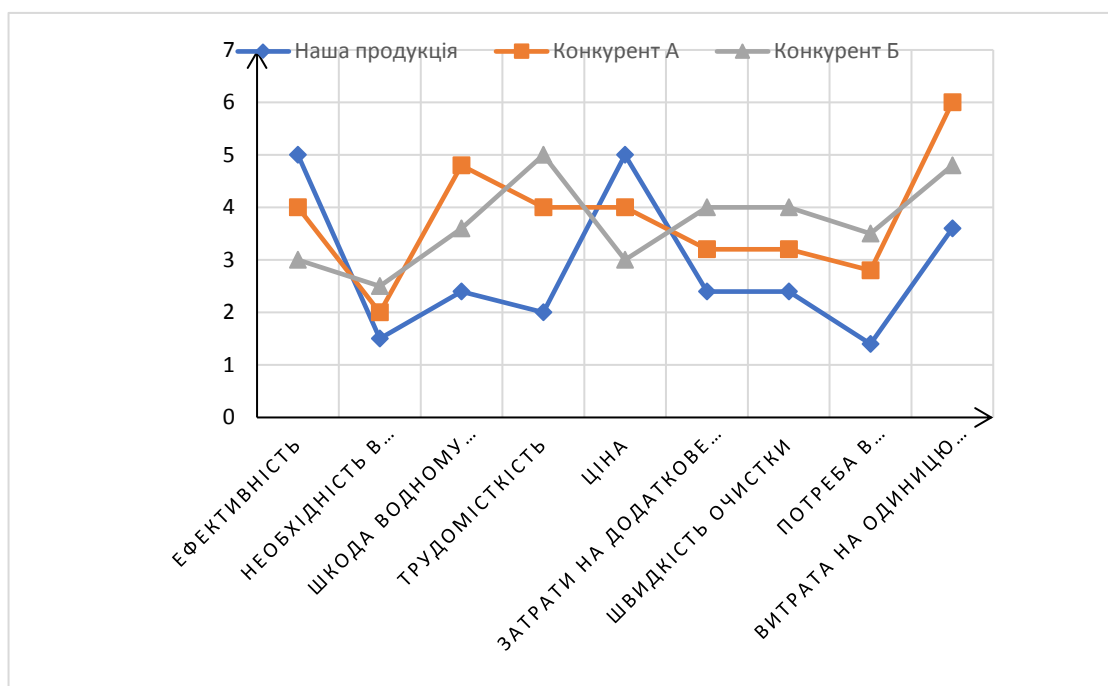


Рисунок 5.1 – Порівняння конкурентних переваг підприємства з конкурентами

Таким чином, бачимо, що наш продукт поступається конкурентам лише за вартістю. Але, по-перше, за рахунок того, що наша технологія призначена для багаторазового використання, споживач не витрачає кошти на повторне очищення, а по друге сама технологія знезараження, передбачає пролонговану мікробну стійкість води, за рахунок чого, басейн довше залишається чистим. Однією з ключових переваг є нижча трудомісткість, тобто споживач самостійно проводить повторну очистку, не викликаючи відповідні служби, що також призводить до відсутності витрат на додаткове обладнання при кожному знезараженні.

5.4 Розрахунок основних техніко-економічних показників проекту

Для розвитку даного стартап проекту було використано декілька джерел фінансування – власні та запозичені кошти. До власних коштів відносимо:

- заощадження, одержані від попередньої діяльності;

- формування на підприємстві фонду розвитку виробництва, науки і техніки шляхом відрахувань чітко обумовленого відсотку з доходу або прибутку підприємства протягом всього періоду функціонування.

А до запозичених коштів:

- іноземні інвестиції, а саме інвесторів з Китаю. Так як, у Китаї особливо гостро стоїть питання з очистки води, інвестори зацікавлені в розвитку нових водоочисних технологій.

На виробництві обов'язковими працівниками, які необхідні для виконання відповідного обсягу робіт і повної комплектації робочих місць протягом зміни, є: начальник зміни, апаратник, інженер та механік

Таблиця 5.7 Персонал цеху

Посада	Кількість штатних одиниць, осіб	Зарплата на 1 прац., грн	Зарплата, грн
Начальник зміни	3	8000	24000
Інженер	3	7000	21000
Апаратник	3	5000	15000
Механік	3	4000	12000
Начальник цеху	1	15000	15000
Головний технолог	1	10000	10000
Бухгалтер	1	5500	5500
Прибиральниця	2	3500	7000
Сума		58000	109500

Розрахуємо фонд оплати праці:

$$\text{ФОП} = 12 \cdot \text{ЗП} = 12 \cdot 109\,500 \cdot 1,22 = 1\,603\,080 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Відрахування на соціальні заходи здійснюються за встановленим законодавством ставками від витрат на оплату праці і складає 22%.

Затрати на комплектувачі зручно привести у вигляді таблиці 5.8

Таблиця 5.8 Розрахунок вартості комплектуючих для виробництва очистників

Найменування	Норма витрат	Ціна, грн./шт	Сума витрат грн./рік
Насос	1 140 шт/рік	9 000	10 260 000
Електророзрядний модуль	1 140 шт/рік	60 000	68 400 000
Компресор	1 140 шт/рік	10 000	11 400 000
Джерело напруги	1 140 шт/рік	40 000	45 600 000
Разом		135 660 000	

Річні затрати на комплектуючі: $Z_c = 135\,660\,000 \text{ грн./рік}$

Витрати на електроенергію. Розрахуємо витрати на електроенергію за нерегульованим тарифом, тариф за приєднану потужність: $T_{\text{пр}} = 2.5 \text{ грн/кВт}$; Потужність обладнання: $H_{\text{об}} = 60 \text{ кВт/д}$; Освітлення цілодобове: $H_{\text{ос}} = 30 \text{ кВт/добу}$.

Підприємство працює 12 годин на добу, 250 днів на рік. Річні витрати на електроенергію:

$$\begin{aligned}
 Z_{e/e} &= P_{\text{пр}} \cdot T_{\text{пр}} + T_{\text{нерег}} \cdot (H_{\text{об}} \cdot V_{\text{год}} + H_{\text{ос}} \cdot 250) \\
 &= 5000 \cdot 2.5 + 1 \cdot (60 \cdot 734,864 + 30 \cdot 250) = 64\,091,84 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}
 \end{aligned}$$

Витрати на опалення цеху. Загальна площа: 1800 м^2 ; тарифна ставка на опалення: $33 \text{ грн./м}^2 \text{ міс}$; Сезон опалення: 6 місяців.

$$Z_{\text{опал.}} = 1800 \cdot 33 \cdot 6 = 356\,400 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Амортизаційні відрахування. Здійснюються за прийнятими методами і нормами.

Таблиця 5.9 Розрахунок вартості ОЗ підприємства з виробництва плазмових очисників

Найменування	Кількість одиниць	Вартість, грн.	Норма амортизації за рік, %
Склад	1	1 000 000	5
Цех (будівля)	1	1 150 000	5
Конвеєрна лінія	5	30 000	20
Контролер	10	20 000	20
Автоматизоване приладдя	1	500 000	30
Сертифікат		250 000	30
Транспорт (внутрішньо цеховий)	2	15 000	20
Виробничий інвентар		10 000	25

Сумарна вартість основних фондів:

$$\text{ОФ} = 1\,000\,000 + 1\,150\,000 + 30\,000 + 20\,000 + 500\,000 + 250\,000 + 15\,000 + 10\,000 \\ = 2\,975\,000 \text{ грн./рік}$$

Розраховуємо величину амортизаційних відрахувань:

$$A = (1\,000\,000 + 1\,150\,000) \cdot 0,05 + (30\,000 + 20\,000) \cdot 0,2 + (500\,000 + 250\,000) \cdot 0,3 + \\ 15\,000 \cdot 0,2 + 10\,000 \cdot 0,25 = 348\,000 \text{ грн.}$$

Сумарні цехові витрати наведено у таблиці 9.

Таблиця 5.10 Сумарні затрати цеху виробництва плазмових очисників

Статті затрат	Затрати на річний випуск, грн./рік
Комплектуючі	135 660 000
Електроенергія	64 092
Опалення	356 400
Фонд оплати праці	1 603 080
Амортизація	348 000
Всього (собівартість)	138 031 572

Розрахунок ціни за основними методами ціноутворення:

1. Метод, орієнтований на витрати (витратний метод):

$$\begin{aligned} \text{Ц} &= \frac{\text{С}}{1140} + \text{С} \cdot 0,001\% = \frac{138\,031\,572}{1140} + 138\,031\,572 \cdot 0,0001 \\ &= 121\,080,3 + 13\,803,2 = 134\,883,5 \text{ грн/шт} \end{aligned}$$

2. Агрегатний метод – застосовується до товарів із складових елементів:

$$\text{Ц} = \text{Ц}_1 + \text{Ц}_2 + \dots + \text{Ц}_i = 9\,000 + 60\,000 + 10\,000 + 40\,000 = 119\,000 \text{ грн/шт}$$

3. Параметричний метод – враховує вагомість якісних параметрів товару і оцінку цих параметрів споживачем:

$$\begin{aligned} \text{Ц}_{\text{нової моделі}} &= \text{Ц}_{\text{базової моделі}} \cdot \frac{\text{Балова оцінка нової моделі}}{\text{Балова оцінка базової моделі}} = 255\,565 \cdot \frac{5}{4} \\ &= 319\,456,25 \text{ грн/шт} \end{aligned}$$

4. Метод ціноутворення на основі поточних цін або конкурентний метод.

Було проведено аналіз цін на товари конкурентів. А саме, конкурент А – ціни коливаються в діапазоні від 23 747 до 546 317 грн. Конкурент Б – від 179 154 до 557 196 грн.

Отже, для нашого продукту ціна може коливатися від 120 000 до 400 000 грн. І саме з такими цінами продукція на ринку може бути конкурентно спроможною.

5. Баловий метод.

Визначимо ціна одного балу:

$$\text{Ц}' = \frac{\text{Ц}_{\text{базової моделі}}}{\sum (\text{Б}_{\text{бі}} \cdot V)_i} = \frac{255\,565}{33,4} = 7\,651,6$$

Визначимо ціну нового виробу:

$$\text{Ц} = \sum (\text{Б}_{\text{ні}} \cdot V_i) \cdot \text{Ц}' = 25,7 \cdot 7\,651,6 = 196\,646,12 \text{ грн/шт}$$

Ціна реалізації кінцевої продукції, розрахуємо ціну річного випуску продукції:

$$\text{В}_{\text{рік}}^{\text{грн}} = \text{Ц} \cdot \text{В}_{\text{рік}} = 190\,000 \cdot 1\,140 = 216\,600\,000 \text{ грн}$$

Визначаємо прибуток підприємства:

$$\text{П} = \text{В}_{\text{рік}}^{\text{грн}} - \text{С} = 216\,600\,000 - 138\,031\,572 = 78\,568\,428 \text{ грн}$$

Рентабельність підприємства:

$$\text{Р} = \frac{\text{П}}{\text{С}} \cdot 100\% = \frac{78\,568\,428}{138\,031\,572} \cdot 100 = 56,9 \%$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{\Pi}{\text{ОФ} + \text{ОбФ}} = \frac{78\,568\,428}{2\,975\,000 + 135\,883\,392} = 0,566$$

$$\text{ОбФ} = C - A - \text{ЗП} = 138\,031\,572 - 348\,000 - 1\,800\,180 = 135\,883\,392 \text{ грн.}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,566} = 1,77 \text{ р.}$$

Фондовіддача основних засобів виробництва:

$$\text{ФВ} = \frac{V_{\text{рік}}^{\text{грн}}}{\text{ОФ}} = \frac{216\,600\,000}{2\,975\,000} = 72,8 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність:

$$\text{ФЄ} = \frac{1}{\text{ФВ}} = \frac{1}{72,8} = 0,013$$

Зведемо всі розраховані в розділі 4 показники до таблиці 10

Розрахуємо точку беззбитковості.

Розрахуємо собівартість продукції за витратами, враховуючи витрати на технічне обслуговування обладнання (на технічне обслуговування обладнання ми заклали таку ж суму, яка йде на виготовлення однієї одиниці продукції). На 1140 штук ми витрачаємо комплектуючих на 138 031 572 грн, тобто на одну одиницю продукції ми витрачаємо 121 080,3 грн.

Позначимо точку беззбитковості через X у штуках. Витрати за рік складатимуть:

$$2\,975\,000 + 1\,800\,180 + 64\,092 + 356\,400 + 121\,080,3 \cdot X = 200\,000 \cdot X$$

$$78\,919,7 \cdot X = 5\,195\,672$$

$$X = 65,83.$$

Точка беззбитковості – 66 шт/рік

Таблиця 5.11. Основні техніко - економічні показники цеха з виробництва плазмових очисників

Показник	Значення
Вартість основних фондів	2 975 000 грн.
Річний випуск	1 140 шт

Продовження таблиці 5.11

Чисельність персоналу	17 осіб
Капіталовкладення	138 031 572 грн.
Собівартість продукції	138 031 572 грн./рік
Ціна продукції	190 000 грн./шт
Прибуток	78 568 428 грн./рік
Рентабельність	56,9 %
Коефіцієнт економічної ефективності	0,566
Період повернення капіталовкладень	1,77 років
Фондовіддача	72,8 грн./грн.
Фондоємність	0,013 грн./грн.

За знайденими техніко-економічними показниками можна зробити висновок, що дане підприємство є прибутковим.

5.5 Оцінка ризиків та страхування розробки.

Розглянемо основні ризики, які можуть мати місце для нашого підприємства.

1. Ринковий ризик: ринок є абсолютно новим для України, по суті ми його створюємо.

Страхування: навіть якщо нам не вдасться створити великий ринок, ми зможемо досить довго існувати на невеликому ринку обсягом 50-100 шт/рік

2. Ризик конкуруючих технологій: існує можливість, що якась фірма створить технологію та продукт, аналогічні нашим.

Страхування: ринок є досить великим і на перших порах ми практично не будемо з ними конкурувати

3. Ризик завершення або технічний ризик: технологія надійна, аналогічні продукти застосовуються у деяких країнах Європи.

Страхування: наші технологи не стоять на місці. Постійно йдуть експерименти та удосконалення технології.

4. Політичний ризик: в майбутньому можуть бути прийняті нові нормативно-правові акти по очистці води.

Страхування: ведеться чітке слідування нормам технології, і ми готові звітувати перед будь-яким органом. Погіршення торгових відносин з країнами-постачальниками нашої сировини не передбачується, оскільки це надійні торгові партнери України.

5. Ризик капітальних вкладень: існує ризик різкого підйому ціни на імпорту сировину.

Страхування: з постачальниками ми заключимо контракти, згідно яких зможемо платити через деякий час після отримання продукції. Таким чином на момент різких валютних коливань у нас ще буде запас сировини, закупленої за старою ціною, і ми зможемо наперед реалізовувати продукцію по вищій ціні.

6. Ризик втрати майна. Робота з високими напругами, робить наше підприємство пожежонебезпечним.

Страхування: підприємство обладнане необхідним вентиляційним та протипожежним обладнанням.

До більшості ризиків ми готові, і суттєвих втрат не понесемо. Єдиний реальний ризик – це пожежа або вибух, тому ми застрахуємо підприємство від вибухів та пожеж.

Висновки

1. Проведено аналіз основних технологій очищення води басейнів. В результаті аналізу визначено основні показники, за якими нормується вода та проаналізовані основні методи очистки води, їх недоліки та переваги та технологія електророзрядного очищення води басейнів.

2. Проведено експериментальне дослідження процесу електророзрядного очищення води від основних забруднювачів на дослідній установці, що показало високу ефективність застосування даної технології очистки води басейнів.

3. Виконано аналіз та обробку результатів експериментальних дослідів з використанням пакетів Mathcad, Origin Pro, які дозволили визначити параметри роботи електророзрядного модуля, розрахувати повний вклад енергії та коефіцієнти корисної дії установки для різних режимів роботи і різних забруднювачів. Отримані результати дозволять мінімізувати витрати енергії на проведення процесу очищення води басейнів.

4. Проведено аналіз процесу електророзрядного очищення води, як об'єкту керування та виявлено основні параметри контролю та керування.

5. Визначено оптимальні налаштування ПД-регулятора за показником коливальності системи для контуру стабілізації температури очищеної води, яка повертається в басейн. Для забезпечення заданого запасу стійкості системи параметри налаштувань ПД-регулятора становлять: величина коефіцієнту підсилення $k_p = 9,219 \cdot 10^{-3}$, постійні часу регулятора – $T_i = 0,01$, $T_{пр} = 0,005$. Побудований перехідний процес системі регулювання із розрахованим регулятором.

6. Розроблена SCADA-система за допомогою інструментального середовища TRACE MODE 6 RTM мовою FBD, що здійснює обробку даних і керування процесами електророзрядного очищення води басейнів, і яка являє собою сукупність взаємодіючих модулів, кожен з яких виконує визначені функції.

7. Розроблено та обґрунтовано основні аспекти економічної доцільності застосування електророзрядної технології у вигляді стартап проекту. Визначено, що прибуток від продажу установок очищення води басейнів становить 78 568 428 грн./рік, ціна за одну одиницю товару 190 000 грн./шт, а період повернення капіталовкладень – 1,77 років.

Список використаних джерел

1. С. Н. Тымчук, Е. Ларин, Д. М. Соколов Наиболее значимые санитарно-микробиологические показатели оценки качества питьевой воды // Журнал водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 11 – 8 с.
2. СанПиН 2.1.2.1188-03. Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества.
3. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.
4. СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества.
5. СанПиН 2.1.4.1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения.
6. СанПиН 2.1.5.980-00. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.
7. МУ 2.1.4.1057-01. Организация внутреннего контроля качества санитарно-микробиологических исследований воды. Кутепов, А. М. Плазменное модифицирование текстильных материалов : перспективы и проблемы / А. М. Кутепов, А. Г. Захаров, А. И. Максимов, В. А. Титов // Российский химических журнал. – 2002. – Т. 46. – №. 1. – С. 103–115.
8. Пивоваров, А. А. Влияние степени разбавления питьевой воды дистиллятом на pH плазмохимически обработанных водных растворов / А. А. Пивоваров, А. П. Тищенко, С. В. Трещук // Вопросы химии и химической технологии. – 2012. – № 2. – С. 156-158.
9. Gondikas A.P., von der Kammer F., Reed R.B. et al. Release of TiO₂ nanoparticles from sunscreens into surface waters: A one-year survey at the old danube recreation lake// Environmental Science and Technology. 2014, 48 (10), 5415-5422.
10. Holbrook R.D., Motabar D., Quinones O. et al. Titanium distribution in swimming pool water is dominated by dissolved species// Environmental Pollution. 2013. 181, 68-74.

11. Wang W., Qian Y., Boyd J.M. et al. Halobenzoquinones in swimming pool waters and their formation from personal care products // Environmental Science and Technology. 2013. 47 (7). 3275-3282.
12. Xiao F., Zhang X., Zhai H. et al. New halogenated disinfection byproducts in swimming pool water and their permeability across skin // Environmental Science and Technology. 2012. 46 (13). 7112-7119.
13. Методи очищення та дезінфекції води в басейні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dachadecor.com.ua/basseyni/metodi-ochistki-i-dezinfektsii-vodi-v-basseyne.htm>
14. Хлорирование воды – о пользе и вреде [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.aquaexpert.ru/enc/articles/chlorum/>
15. Озонирование воды. Преимущества и недостатки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.water.ru/bz/param/ozon2.php>
16. Быков А.А. Исследование газожидкостных течений и характеристик электрического разряда в процессах очистки промышленных и бытовых сточных вод. Автореф. канд. дис. [Текст] / Быков А.А. // М.: МФТИ – 2011 – 24 с.
17. К. В. Вовненко, С. Г. Бондаренко Особливості знезараження води при використанні електророзрядної технології. Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку – КМХТ-2018: Збірник наукових статей Шостої міжнар. наук.-практ. конф. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018 – с.237-242
18. С.В. Петров, С. Г. Бондаренко, О. В. Пастушенко, К. В. Вовненко Вовненко К. В. Визначення витрат енергії на очистку води при її плазмовохімічному очищенні. Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні»: збірка наукових праць / Під редакцією Г.О. Райко. – Херсон: ФОП Вишемирський В. С., 2018 –с. 154-163.
19. Можаяев Л. Системы водоподготовки для бассейнов / Можаяев Л., Волков А. // Сантехника, отопление, кондиционирование, 2010. – № 9. – с.22-23.

20. Л.А. Широков Автоматизированное управление инженерной инфраструктурой бассейнов различного назначения / Л.А. Широков, Е.Н. Романенко // Технология строительных процессов. Механизмы и оборудование – 2016 – №10 – с. 69 - 79.
21. ДСТУ ISO 6060:2003. Качество воды. Определение химической потребности в кислороде
22. Origin Pro 2018, SR2 data analysis, научные графики, graphing OriginPro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://softoroom.net/topic45574.html>
23. Теорія автоматичного керування: метод. вказівки і завд. до викон. домашньої контр. роб. та самостійної роботи для студ. напр. підг. 6.050202 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”/Автори: С.Г. Бондаренко, О.В. Сангінова
24. Trace Mode 6 & T-Factory Быстрый старт: Руководство Пользователя. / AdAstra Research Group, Ltd: Москва, 2010. 181 с.
25. Шиян Л.Н. Химия воды. Водоподготовка: Учебное пособие.– Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 72 с.

Додаток А. Протоколи хімічних аналізів модельних та оброблених розчинів.

СВІДОЦТВО ПРО АТЕСТАЦІЮ
ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ТОВ „КОМПАНІЯ СУБОС”
ВИДАНЕ 17.01.12, ДІЙСНЕ ДО 16.01.2016 р.
УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ
ПРОТОКОЛ № 68-69
ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДИ

Проба доставлена Замовником

Місце відбору проби: зразки дослідної води

№ п/п	НАЙМЕНУ- ВАННЯ ПОКАЗНИ- КА	Од. виміру	Методика визначення	Результат дослідження проба №1 – вихідний розчин /визначена кількість мг/дм ³ в розчині/	Результат дослідження проба №2 – оброблений розчин /визначена кількість мг/дм ³ в розчині/
1	МІДЬ	мг/дм ³	ГОСТ 4388 Колориметрическое определение массовой концентрации меди с диэтилдитиокабама- том натрия	Розведення 1;0 до 50,0 25.01.12/після повного осаду/ = 8,9	Розведення 1,0 до 50,0 =4,0 25.01.12 /після повного осаду/ = 3,2

Підпис особи, яка проводила аналіз



Результати випробувань стосуються тільки зразків, підданих випробуванню

СВІДОЦТВО ПРО АТЕСТАЦІЮ
ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ТОВ „КОМПАНІЯ СУБОС”
ВИДАНЕ 17.01.12, ДІЙСНЕ ДО 16.01.2016 р.
УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ
ПРОТОКОЛ № 107-108
ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДИ

Проба доставлена Замовником

Місце відбору проби: зразки дослідної води

№ п / п	НАЙМЕНУ- ВАННЯ ПОКАЗНИ- КА	Од. виміру	Методика визначення	Результат дослідження проба №1 – вихідний розчин /визначена кількість мг/дм³ в розчині/	Результат дослідження проба №2 – оброблений розчин /визначена кількість мг/дм³ в розчині/
1	МІДЬ	мг/дм³	ГОСТ 4388 Колориметрическое определение массовой концентрации меди с диэтилдитиокарбома- том натрия	Розведення 1,0 до 50,0 = 310,0	Розведення 1,0 до 50,0 =240,0
2	СУЛЬФАТИ	мг/дм³	ГОСТ 4389	260,0	230,0

Підпис особи, яка проводила аналіз



Результати випробувань стосуються тільки зразків, підданих випробуванню



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ (КПИ)
ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ИОННОГО ОБМЕНА И АДсорбЦИИ
Свидетельство об аттестации в Укрметртестстандарте
№ ПТ-192/11

✉ 03056, г. Киев, пр. Победы, 37, корп. 4, к. 117
☎ (44) 406 83 22
✉ ecos@carrier.kiev.ua

№ 25-7/01

ЗАКАЗЧИК: Институт Газа НАНУ

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПРЕДОСТАВЛЕННОЙ ПРОБЫ ВОДЫ:

Наименование показателя	Значение показателя		
	фактическое		по ДСанПІН 2.2.4-171-10
	исходная	обработанная	
рН	6,8	8,1	6,5-8,5
Медь, мг/л	0,91	0,13	<1,0

*ДСАНПІН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною"

Зам. зав. лабораторией, к.т.н.

Н.В. Макарова

ЛАБОРАТОРІЯ
ІОННОГО ОБМІНУ
ТА АДсорбції
ХТФ НТУУ КПІ



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ (КПИ)
ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ИОННОГО ОБМЕНА И АДсорбции
Свидетельство об аттестации в Укрметртестстандарте
№ ПТ-192/11**

✉ 03056, г. Киев, пр. Победы, 37, корп. 4, к. 117
☎ (44) 406 83 22
✉ ecos@carrier.kiev.ua

№ 22-5/02

ЗАКАЗЧИК: Институт Газа НАНУ

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПРЕДОСТАВЛЕННОЙ ПРОБЫ ВОДЫ:

Наименование показателя	Значение показателя		
	фактическое		по ДСанПІН 2.2.4-171-10
	Исходный раствор	Раствор после обработки	
Кальций, мг-экв/л	13.0	12.0	не норм.

*ДСАНПІН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною"

Зам. зав. лабораторией, к.т.н.

Н.В. Макарова

ЛАБОРАТОРІЯ
ІОННОГО ОБМІНУ
ТА АДсорбції
ХТФ НТУУ КПІ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ (КПИ)
ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ИОННОГО ОБМЕНА И АДСОРБЦИИ
Свидетельство об аттестации в Укрметртестстандарте
№ ПТ-192/11

✉ 03056, г. Киев, пр. Победы, 37, корп. 4, к. 117
 ☎ (44) 406 83 22
 ✉ ecos@carrier.kiev.ua

№ 02-6/01

ЗАКАЗЧИК: Институт Газа НАНУ

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПРЕДОСТАВЛЕННОЙ ПРОБЫ ВОДЫ:

Наименование показателя	Значение показателя		
	фактическое		по ДСанПІН 2.2.4-171-10
	Исходный раствор	Обработанный раствор	
рН	6.4	6.6	6,5-8,5
Хлориды, мг/л	837	837	<250
Цинк, мг/л	766	762	<1

*ДСАНПІН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною"

Зам. зав. лабораторией, к.т.н.

Н.В. Макарова

ЛАБОРАТОРІЯ
 ІОННОГО ОБМІНУ
 ТА АДСОРБЦІЇ
 ХТФ НТУУ КПІ

Додаток Б. Алгоритм розрахунку миттєвої потужності, вкладу енергії та ККД в математичному середовищі Mathcad

Обробка електророзрядних імпульсів

1. Заносимо оцифровані дані з отриманої осцилограми для її побудови в математичному пакеті:

yU - значення напруги;

xU - значення часу при певній напрузі;

yI - значення струму;

xI - значення часу при певному струмі.

xU :=	$\begin{pmatrix} 0.72702 \\ 3.92762 \\ 7.22906 \\ 12.67094 \\ 22.95309 \\ 37.59737 \\ 50.68375 \\ 60.86204 \\ 69.89787 \\ 75.61018 \\ 77.16808 \\ 81.01091 \\ 82.25723 \\ 82.67267 \\ 144.57331 \\ 156.72494 \\ 165.65692 \\ 178.12013 \\ 189.23317 \\ 194.94547 \\ 201.17708 \\ 206.26623 \\ 211.5631 \\ 487.83105 \\ 511.09572 \\ 538.20322 \\ 557.72893 \\ 595.53401 \\ 600.53401 \end{pmatrix}$	yU :=	$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -606.70008 \\ -1471.90715 \\ -3571.61699 \\ -4721.70931 \\ -6040.62253 \\ -9079.39858 \\ -9902.40042 \\ -10746.50488 \\ -11221.31364 \\ -11179.10841 \\ -10398.31179 \\ -8942.2316 \\ -7644.421 \\ -6779.21393 \\ 4035.87444 \\ 4162.49011 \\ 4120.28489 \\ 4204.69533 \\ 4220.92667 \\ 4245.92667 \end{pmatrix}$	xI :=	$\begin{pmatrix} 3.92365 \\ 11.98303 \\ 25.45069 \\ 36.26723 \\ 45.28102 \\ 57.90032 \\ 66.9141 \\ 75.92789 \\ 84.83563 \\ 87.59279 \\ 86.63839 \\ 86.63839 \\ 90.2439 \\ 93.00106 \\ 181.12407 \\ 191.09226 \\ 199.15164 \\ 202.75716 \\ 206.36267 \\ 212.6193 \\ 215.37646 \\ 223.43584 \\ 232.44963 \\ 455.56734 \\ 485.36585 \\ 511.45281 \\ 542.94804 \\ 560.02121 \\ 600.53022 \end{pmatrix}$	yI :=	$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.07946 \\ -0.15891 \\ -0.5562 \\ -1.03293 \\ -1.58446 \\ -1.98174 \\ -2.61739 \\ -5.63207 \\ -4.56174 \\ -3.60826 \\ -2.73891 \\ -1.78543 \\ -0.67304 \\ 0.07946 \\ 0.79457 \\ 1.46761 \\ 0.71511 \\ 0.39728 \\ 0.35522 \\ 0.27576 \\ 0.27576 \\ 0.1963 \end{pmatrix}$
-------	---	-------	---	-------	---	-------	--

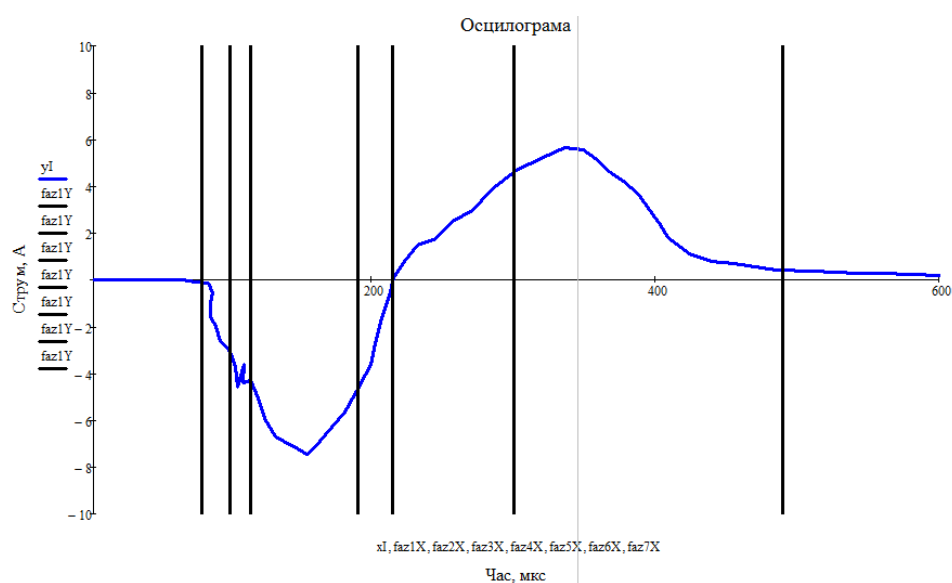
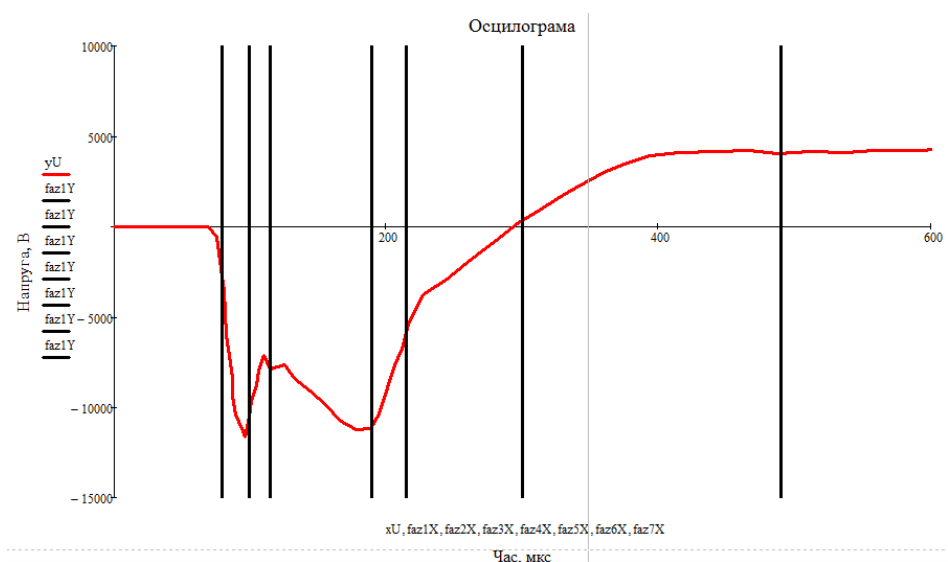
2. Досліджуються наступні фази розряду:

- 1 - зростання напруги до пробою 20 кВ;
- 2 - пробій з падінням напруги до 3 кВ;
- 3 - горіння перехідного розряду - напруга збільшується до 10 кВ і струм збільшується до 50 А;
- 4 - перехід в дуговий розряд з падінням напруги до 2 кВ і зростанням струму до 60 А;
- 5 - загасання розряду з переходом струму через нуль;
- 6 - зворотний імпульс із збудженням високочастотних коливань.

faz1Y := -15000..15000 faz1X := 80 faz2X := 100 faz3X := 115 faz4X := 190

faz5X := 215 faz6X := 300 faz7X := 490

Графік являє отриману осцилограму перенесену в Mathcad, де відображені фази розряду:

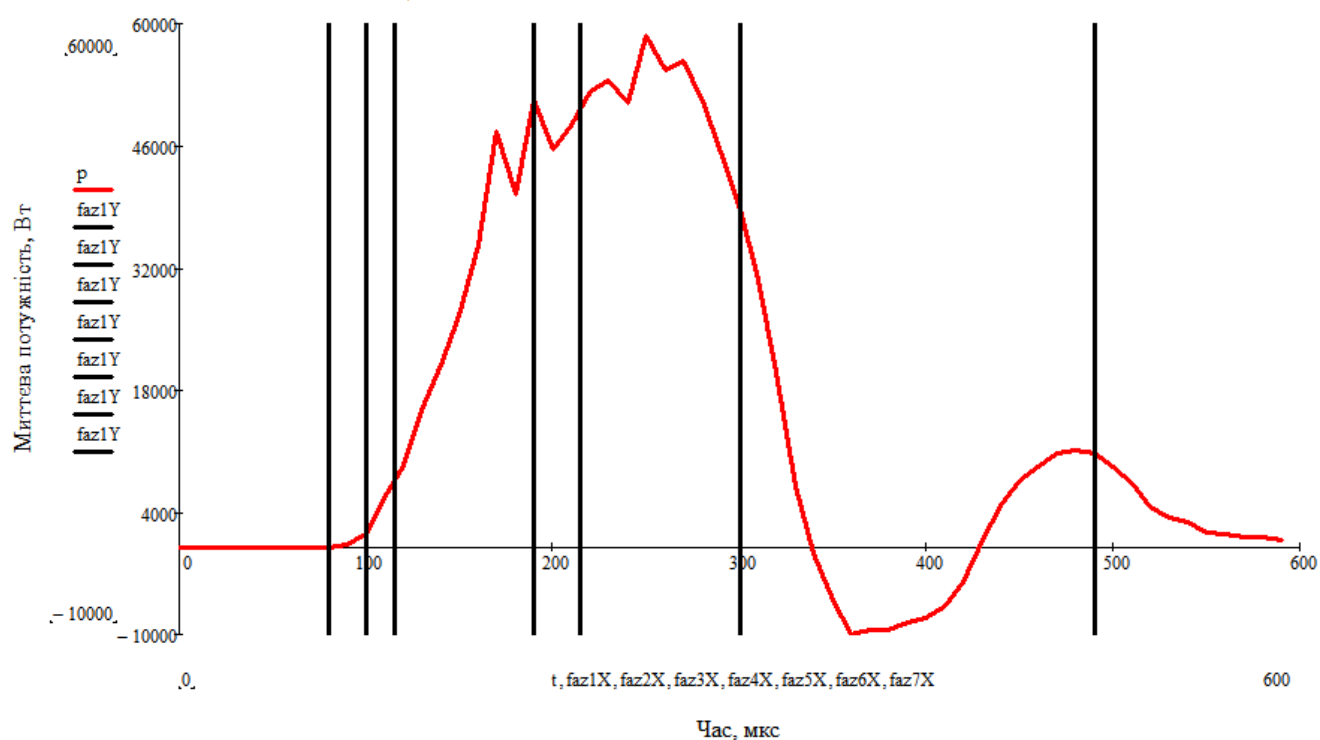


3. Побудова залежності миттєвої потужності від часу горіння розряду (Вт - мкс);

p - миттєва потужність, Вт;
t - час, мкс.

ORIGIN := 0

		0	230
$p := \left[\overrightarrow{(yU \cdot yI)} \right] =$	0	0	240
	1	0	250
	2	0	260
	3	0	270
	4	0	280
	5	0	290
	6	0	300
	7	0	310
	8	0	320
	9	337.447	330
	10	1520.377	340
	11	5659.084	350
	12	9357.2	360
	13	15810.665	370
	14	20858.567	380
	15	...	390



4. Визначення питомих вкладів енергії за різними фазами розряду:

a - початкове значення часу, с;

b - кінцеве значення часу, с;

h - крок, с;

n - кількість точок;

p - миттєва потужність, Вт;

$E1, E2, E3, E4$ - вклад енергії на першій, другій, третій, четвертій фазах відповідно, Дж.

Розрахунок питомого вкладу енергії на першій фазі

$$a := 80 \cdot 10^{-6} \quad b := 100 \cdot 10^{-6} \quad h := 10 \cdot 10^{-6} \quad n := \frac{b-a}{h} \quad n = 2$$

$$\begin{aligned} \text{trap1}(a, b, n, h) := & \left| \begin{array}{l} I \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..n-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} a_{ih} \leftarrow \text{round}\left(\frac{a+i \cdot h}{h}\right) \\ I \leftarrow I + (p_{a_{ih}}) \end{array} \right. \\ \quad a_i \leftarrow \text{round}\left(\frac{a}{h}\right) \\ \quad b_i \leftarrow \text{round}\left(\frac{b}{h}\right) \\ \quad \left(I + \frac{p_{a_i} + p_{b_i}}{2} \right) \cdot h \end{array} \right. \\ E1 := \text{trap1}(a, b, n, h) = 0.011 \end{aligned}$$

Розрахунок питомого вкладу енергії на другій фазі

$$\underline{a} := 100 \cdot 10^{-6} \quad \underline{b} := 115 \cdot 10^{-6} \quad \underline{h} := 10 \cdot 10^{-6} \quad \underline{n} := \frac{b-a}{h} \quad n = 1.5$$

$$\begin{aligned} \text{trap2}(a, b, n, h) := & \left| \begin{array}{l} I \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..n-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} a_{ih} \leftarrow \text{round}\left(\frac{a+i \cdot h}{h}\right) \\ I \leftarrow I + (p_{a_{ih}}) \end{array} \right. \\ \quad a_i \leftarrow \text{round}\left(\frac{a}{h}\right) \\ \quad b_i \leftarrow \text{round}\left(\frac{b}{h}\right) \\ \quad \left(I + \frac{p_{a_i} + p_{b_i}}{2} \right) \cdot h \end{array} \right. \\ E2 := \text{trap2}(a, b, n, h) = 0.111 \end{aligned}$$

Розрахунок питомого вкладу енергії на третій фазі

$$\underline{a} := 115 \cdot 10^{-6} \quad \underline{b} := 190 \cdot 10^{-6} \quad \underline{h} := 10 \cdot 10^{-6} \quad \underline{n} := \frac{b-a}{h} \quad n = 7.5$$

$$\text{trap3}(a, b, n, h) := \left| \begin{array}{l} I \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..n-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} a_{ih} \leftarrow \text{round}\left(\frac{a+i \cdot h}{h}\right) \\ I \leftarrow I + (p_{aih}) \end{array} \right. \\ \quad a_i \leftarrow \text{round}\left(\frac{a}{h}\right) \\ \quad b_i \leftarrow \text{round}\left(\frac{b}{h}\right) \\ \quad \left(I + \frac{p_{ai} + p_{bi}}{2} \right) \cdot h \end{array} \right. \quad E3 := \text{trap3}(a, b, n, h) = 2.032$$

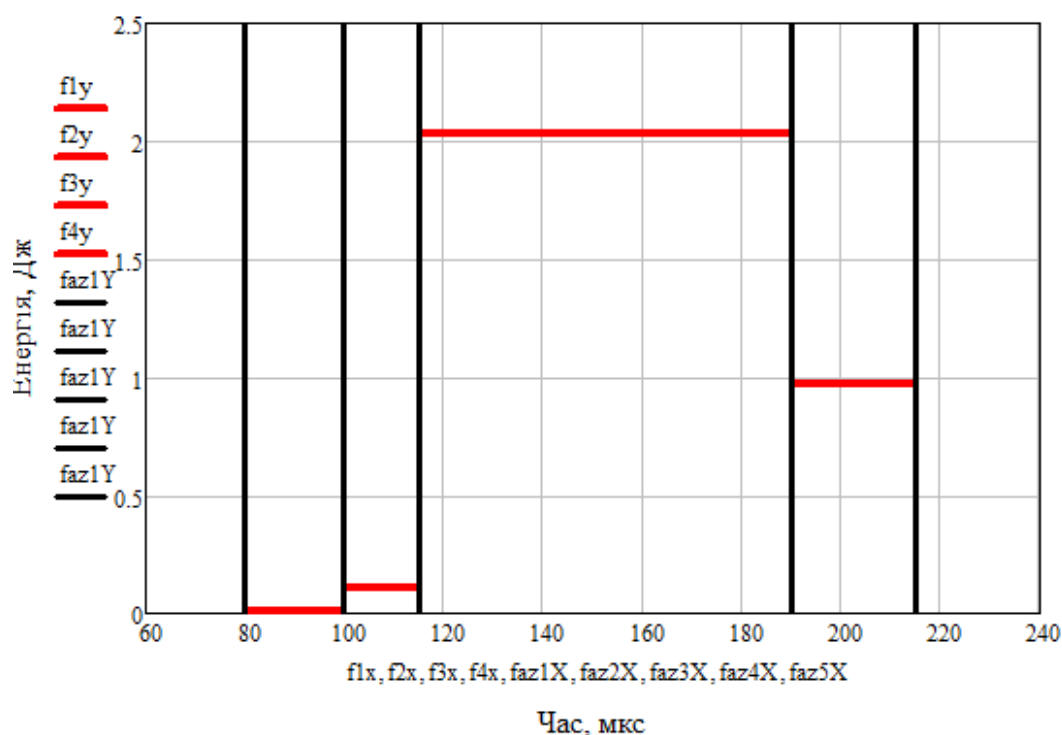
Розрахунок питомого вкладу енергії на четвертій фазі

$$\underline{a} := 190 \cdot 10^{-6} \quad \underline{b} := 215 \cdot 10^{-6} \quad \underline{h} := 10 \cdot 10^{-6} \quad \underline{n} := \frac{b-a}{h} \quad n = 2.5$$

$$\text{trap4}(a, b, n, h) := \left| \begin{array}{l} I \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..n-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} a_{ih} \leftarrow \text{round}\left(\frac{a+i \cdot h}{h}\right) \\ I \leftarrow I + (p_{aih}) \end{array} \right. \\ \quad a_i \leftarrow \text{round}\left(\frac{a}{h}\right) \\ \quad b_i \leftarrow \text{round}\left(\frac{b}{h}\right) \\ \quad \left(I + \frac{p_{ai} + p_{bi}}{2} \right) \cdot h \end{array} \right. \quad E4 := \text{trap4}(a, b, n, h) = 0.973$$

Будуємо залежність зміни енергії за чотирма фазами:

$$\begin{array}{llll} f1x := \begin{pmatrix} faz1X \\ faz2X \end{pmatrix} & f2x := \begin{pmatrix} faz2X \\ faz3X \end{pmatrix} & f3x := \begin{pmatrix} faz3X \\ faz4X \end{pmatrix} & f4x := \begin{pmatrix} faz4X \\ faz5X \end{pmatrix} & faz1Y := 0..3 \\ f1y := \begin{pmatrix} E1 \\ E1 \end{pmatrix} & f2y := \begin{pmatrix} E2 \\ E2 \end{pmatrix} & f3y := \begin{pmatrix} E3 \\ E3 \end{pmatrix} & f4y := \begin{pmatrix} E4 \\ E4 \end{pmatrix} \end{array}$$



Визначаємо повний вклад енергії в розряд, Дж:

$$\Sigma E := E1 + E2 + E3 + E4 = 3.127$$

Розраховуємо ККД по кожній фазі

Емність конденсатора, Ф: $C_k := 600 \cdot 10^{-6}$

Напруга в конденсаторі, В: $U_k := 500$

Енергія накопичувального конденсатора, Дж: $q := \frac{C_k \cdot U_k^2}{2} = 75$

ККД на першій фазі: $\eta_1 := \frac{E1}{q} = 1.464 \times 10^{-4}$

ККД на другій фазі: $\eta_2 := \frac{E2}{q} = 1.48 \times 10^{-3}$

ККД на третій фазі: $\eta_3 := \frac{E3}{q} = 0.027$

ККД на четвертій фазі: $\eta_4 := \frac{E4}{q} = 0.013$

Сумарний ККД: $\Sigma \eta := \frac{\Sigma E}{q} = 0.042$

Додаток В. Лістинг MathCAD по налаштуванню та характеристикам ПД-регулятора

Задаю значення даних коефіцієнтів, уявну одиницю, та значення частот: $\text{ORIGIN} \equiv 1$

$i := 1..1000$

$j := \sqrt{-1} \quad \omega_i := 0.01 \cdot i \quad p_i := \omega_i \cdot j \quad n := 1..4$

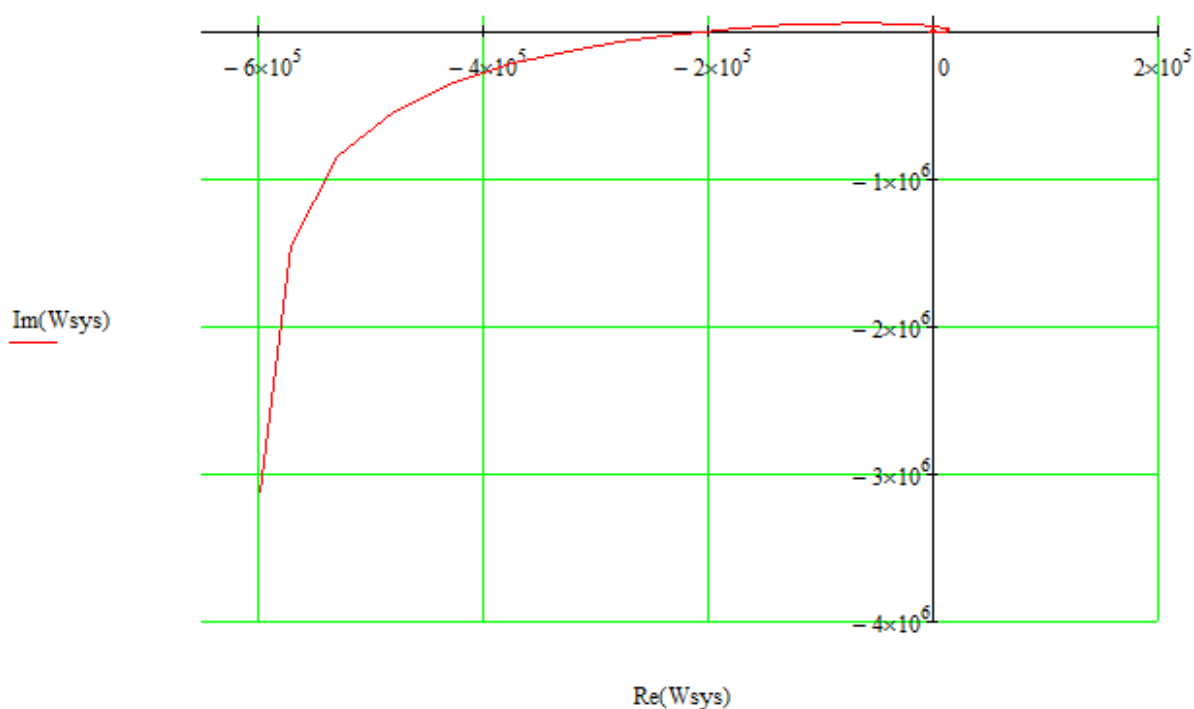
$M := 1.6 \quad k1 := 32 \quad T1 := 12$

$$Wob_i := \frac{k1}{T1 \cdot p_i + 1} \cdot e^{-7 p_i}$$

1

$$Kp_n := 1 \quad Ti_1 := 0.001 \quad Wreg_i := Kp_1 \left(0.5 Ti_1 \cdot p_i + 1 + \frac{1}{Ti_1 p_i} \right)$$

$$Wsys_i := Wob_i \cdot Wreg_i$$

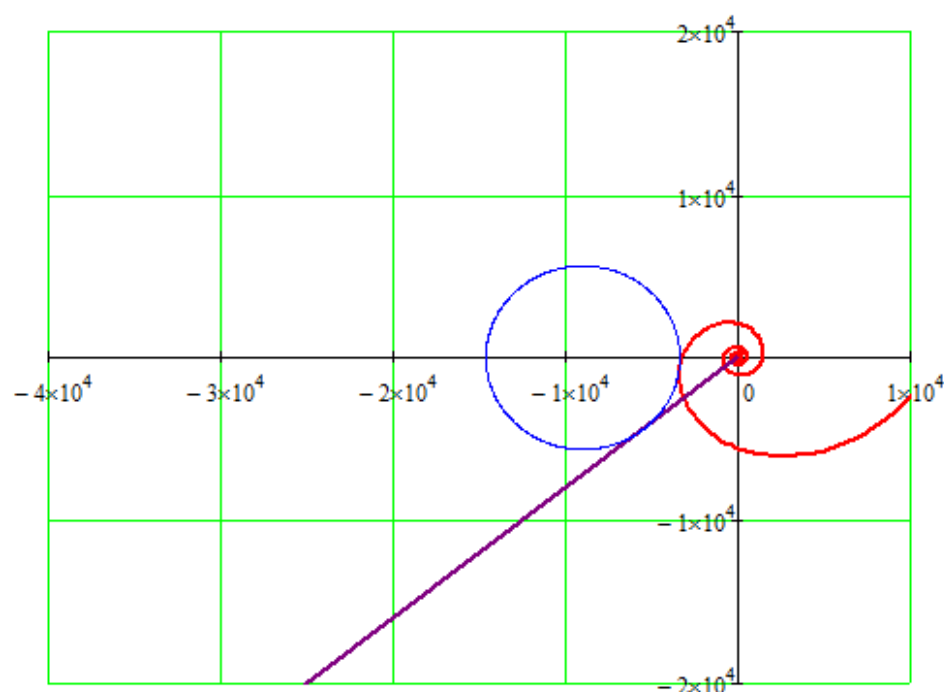


$$k := \tan\left(\arcsin\left(\frac{1}{M}\right)\right) \text{float}, 4 \rightarrow 0.8006$$

$$i1 := 1..100000 \quad x1_{i1} := -i1 + 1 \quad y1_{i1} := k \cdot x1_{i1}$$

$$ic := 1 \cdot \frac{2 \cdot 3.14}{0.01} \quad \underline{\underline{M}} := 9000 \quad \beta_{ic} := 0.01 \cdot ic$$

$$Mcir_{ic} := \left(\cos(\beta_{ic}) + j \cdot \sin(\beta_{ic}) \right) \cdot \frac{L_1}{M} - L_1$$



$$Kp_1 := \frac{M}{M^2 - 1} \cdot \frac{M}{L_1} \quad Kp_1 = 1.823 \times 10^{-4}$$

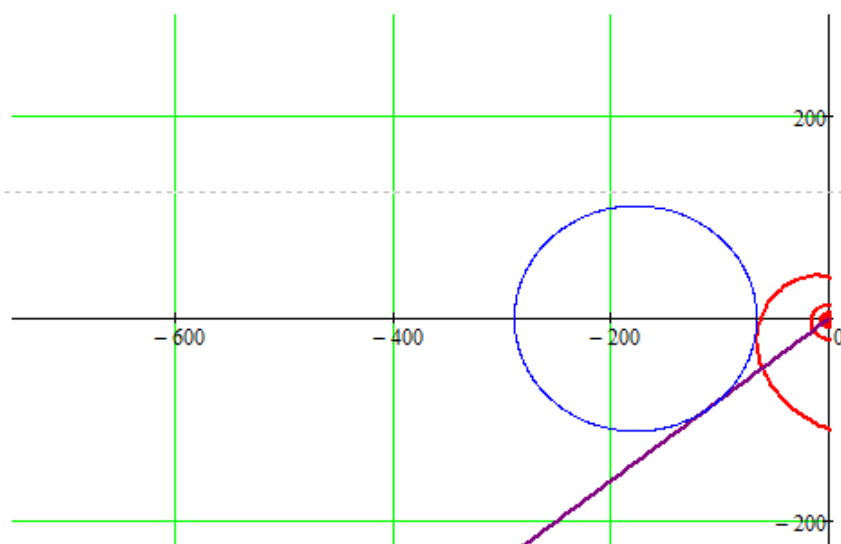
2

$$Kp_n := 1 \quad Ti_2 := 0.05 \quad Wreg_i := Kp_1 \left(0.5 Ti_2 \cdot p_i + 1 + \frac{1}{Ti_2 p_i} \right)$$

$$Wsys_i := Wob_i \cdot Wreg_i \quad L_2 := 178$$

$$Mcir_{ic} := \left(\cos(\beta_{ic}) + j \cdot \sin(\beta_{ic}) \right) \cdot \frac{L_2}{M} - L_2$$

+

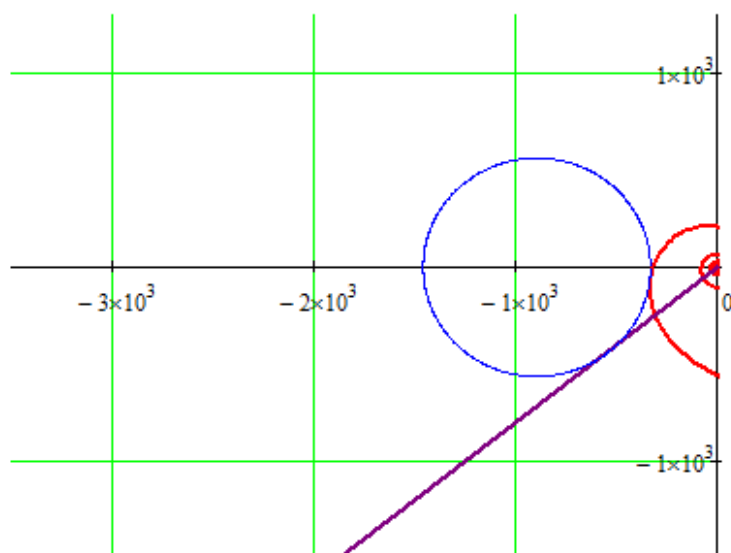


$$Kp_2 := \frac{M}{M^2 - 1} \cdot \frac{M}{L_2} \quad Kp_2 = 9.219 \times 10^{-3}$$

$$Kp_n := 1 \quad Ti_3 := 0.01 \quad Wreg_i := Kp_1 \left(0.5 Ti_3 \cdot p_i + 1 + \frac{1}{Ti_3 p_i} \right)$$

$$Wsys_i := Wob_i \cdot Wreg_i \quad L_3 := 900$$

$$Mcir_{ic} := \left(\cos(\beta_{ic}) + j \cdot \sin(\beta_{ic}) \right) \cdot \frac{L_3}{M} - L_3$$



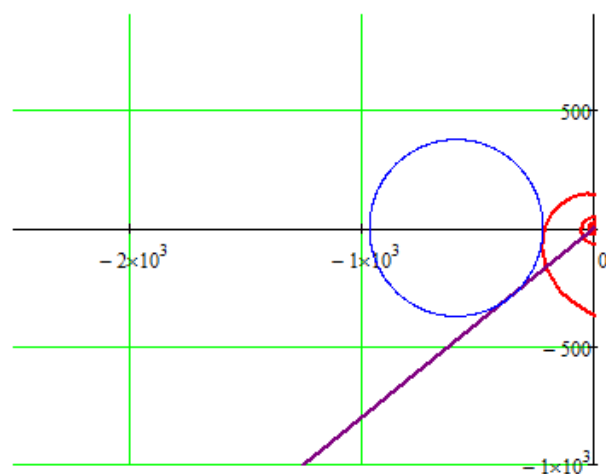
$$Kp_3 := \frac{M}{M^2 - 1} \cdot \frac{M}{L_3} \quad Kp_3 = 1.823 \times 10^{-3}$$

4

$$Kp_n := 1 \quad Ti_4 := 0.015 \quad Wreg_i := Kp_1 \left(0.5 Ti_4 \cdot p_i + 1 + \frac{1}{Ti_4 p_i} \right)$$

$$Wsys_i := Wob_i \cdot Wreg_i \quad L_4 := 597$$

$$Mcir_{ic} := \left(\cos(\beta_{ic}) + j \cdot \sin(\beta_{ic}) \right) \cdot \frac{L_4}{M} - L_4$$



$$Kp_4 := \frac{M}{M^2 - 1} \cdot \frac{M}{L_4} \quad Kp_4 = 2.749 \times 10^{-3}$$

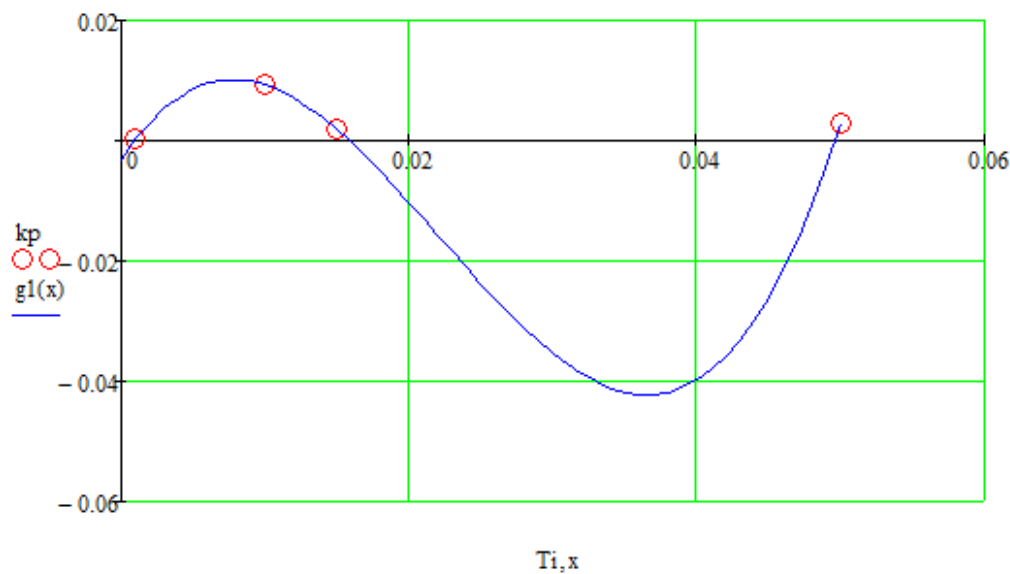
Знайшовши декілька точок, будуємо графік залежності k_p від T_i . Для цього Побудуємо графік із отриманих точок, яким визначимо оптимальні налаштування ПІД-регулятора

$$kp := \begin{pmatrix} 1.823 \times 10^{-4} \\ 9.219 \times 10^{-3} \\ 1.823 \times 10^{-3} \\ 2.749 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad Ti := \begin{pmatrix} 0.001 \\ 0.01 \\ 0.015 \\ 0.05 \end{pmatrix} \quad \frac{kp}{Ti} = \begin{pmatrix} 0.182 \\ 0.922 \\ 0.122 \\ 0.055 \end{pmatrix}$$

$coef := cspline(Ti, kp)$

$g1(x) := interp(coef, Ti, kp, x)$

$Ti_opt := 0.01 \quad Kp_opt := 9.219 \times 10^{-3} \quad Tp_opt := 0.5 \cdot Ti_opt = 5 \times 10^{-3}$
 $x := 0, 0.001 \dots 0.05$



Оскільки дотичну побудувати неможливо оптимальними значеннями буде максимальне відношення Kp/Ti

Побудова перехідної характеристики з ПІД регулятором.

Задаємо значення змінної p :

$$p := p$$

Записуємо перехідну функцію об'єкта без транспортного запізнення:

$$W_{ob}(p) := \frac{k1}{T1 \cdot p + 1} \cdot e^{-7p}$$

Записуємо перехідну функцію ПІД регулятора з оптимальними налаштуваннями:

$$W_{reg_opt}(p) := Kp_opt \cdot \left(1 + \frac{1}{Ti_opt \cdot p} + Tp_opt \cdot p \right)$$

Записуємо перехідну функцію розімкненої системи з ПІД регулятором:

$$W_{roz}(p) := W_{reg_opt}(p) \cdot W_{ob}(p)$$

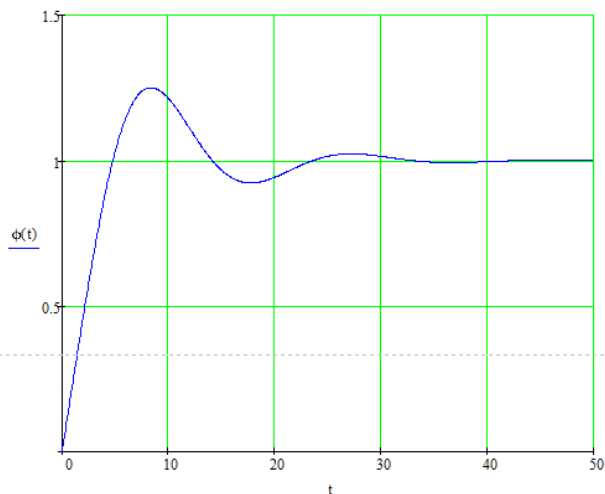
Записуємо перехідну функцію замкненої системи:

$$W(p) := \frac{W_{roz}(p)}{1 + W_{roz}(p)}$$

За перетвореннями Лапласа знайдемо перехідну характеристику системи:

$$\phi(t) := W(p) \cdot \frac{1}{p} \Big|_{\text{invlaplace}, p, t} \rightarrow -0.000016 \cdot e^{-0.2083 \cdot t} + 0.000008 \cdot e^{-0.4167 \cdot t} + -0.2326 \cdot e^{-0.6168 \cdot t} + -0.7674 \cdot \cos(0.3325 \cdot t) \cdot e^{-0.1259 \cdot t} + 0.01068 \cdot \sin(0.3325 \cdot t) \cdot e^{-0.1259 \cdot t} + 1.0$$

Побудуємо перехідну характеристику системи (на вхід подаємо у вигляді збудження-одиницю сходянку):



Додаток Г. Анкета-опитування для споживачів фільтрів знезараження води

Анкета-опитування для споживачів фільтрів знезараження води щодо визначення їх бачення можливості використання електророзрядних технологій для очистки басейнів.

Правила заповнення анкети:

- 1) Учасник опитування після обрання того чи іншого варіанту відповіді на питання робить позначку навпроти нього;
- 2) Якщо учасник опитування має власну відповідь на питання, він формулює її письмово у графі «Інша відповідь».

1. Який Ваш досвід використання фільтрів?	до 3 років - <input type="checkbox"/> 3-5 років - <input type="checkbox"/> 5-10 років - <input type="checkbox"/> 10-20 років - <input type="checkbox"/> Більше 20 років - <input type="checkbox"/>
2. Як часто ви відвідуєте басейн?	1 раз на тиждень - <input type="checkbox"/> 2-5 разів на тиждень - <input type="checkbox"/> 5-7 разів на тиждень - <input type="checkbox"/> Більше ніж 7 разів - <input type="checkbox"/> ніколи - <input type="checkbox"/>
3. Ваше ставлення до екологічного становища водного середовища планети?	Зацікавлене - <input type="checkbox"/> Нейтральне - <input type="checkbox"/> Не цікавить - <input type="checkbox"/>
4. До використання якого типу очистки ви більше схильєтесь?	Класичних методів - <input type="checkbox"/> Альтернативних методів - <input type="checkbox"/>
5. Як ви вважаєте, за якими методами майбутнє?	Класичними методами - <input type="checkbox"/> Альтернативними методами - <input type="checkbox"/>
6. Чи виникали у Вас колись проблеми з знезараженням води класичними методами?	Так - <input type="checkbox"/> Ні - <input type="checkbox"/>
7. Які показники, на Ваш погляд, є необхідними для визначення якості очистки?	_____ _____ _____

	_____	_____	_____
8. Які показники якості в плазмених очисниках для Вас є найважливішими?	Ефективність <input type="checkbox"/>	Трудомісткість - <input type="checkbox"/>	Ціна - <input type="checkbox"/>
	Швидкість очистки - <input type="checkbox"/>	Відсутність шкоди водному середовищу - <input type="checkbox"/>	
9. Чи знаєте Ви, що таке електророзрядні технології?	так - <input type="checkbox"/>	Ні - <input type="checkbox"/>	
10. Чи знаєте Ви, що плазмове очищення води, дозволяє водоймищам довше залишатися чистими?	Так - <input type="checkbox"/>	Ні - <input type="checkbox"/>	
11. Чи знаєте Ви, що знезараження води електророзрядними технологіями дозволяє знищити майже всі патогенні бактерії?	Так - <input type="checkbox"/>	Ні - <input type="checkbox"/>	
12. Як ви ставитесь до ідеї використання електророзрядних технологій для знезараження води?	Негативно - <input type="checkbox"/>	Скоріше негативно - <input type="checkbox"/>	
	Нейтрально - <input type="checkbox"/>	Скоріше добре - <input type="checkbox"/>	
	Схвально - <input type="checkbox"/>		

Дякуємо за ваші відповіді!